Die Lösung betriebswirtschaftlicher Probleme durch Entscheidungssequenzen

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung der Würde eines Doctor rerum politicarum
der Rechts- und wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät
der Universität Bern

vorgelegt von
Peter Michael Wehrli
von Zürich

Herbert Lang Bern
Peter Lang Frankfurt/M.
1976

Peter Wehrli

Die Lösung betriebswirtschaftlicher Probleme durch Entscheidungssequenzen

Die Lösung betriebswirtschaftlicher Probleme durch Entscheidungssequenzen

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung der Würde eines Doctor rerum politicarum
der Rechts- und wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät
der Universität Bern

vorgelegt von
Peter Michael Wehrli
von Zürich

Herbert Lang Bern
Peter Lang Frankfurt/M.
1976

Die Fakultät hat diese Arbeit am 10. Juli 1975 auf Antrag von Prof. Dr. Walter Müller als Dissertation angenommen, ohne damit zu den darin ausgesprochenen Auffassungen Stellung nehmen zu wollen.

Druck ab Manuskript des Autors

©
Peter Lang GmbH, Frankfurt/M. (BRD)
Herbert Lang & Cie AG, Bern (Schweiz)
1976. Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck oder Vervielfältigung, auch auszugsweise, in allen Formen wie Mikrofilm, Xerographie, Mikrofiche, Mikrocard, Offset verboten.

Druck: fotokop wilhelm weihert KG, Darmstadt

Meiner Frau und meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Betriebswirtschaftslehre und Entscheidungssequenzen	1
1.1 Das Problem	1
11.1 These	1
11.2 Zur bisherigen Entwicklung der Betriebswirtschaftslehre	2
11.3 Die Theorie des rationalen Einzelentscheides	8
11.4 Existenz und Bedeutung eines eigenständigen Entscheidungssequenzen-Problems	25
1.2 Ziele und Aufbau der weiteren Untersuchungen	29
Anmerkungen zu Teil 1	32
2 Bestehende Ansätze zur Lösung sequentieller Entscheidungsprobleme	40
2.1 Vorbemerkungen	40
2.2 Das Entscheidsequenzen-Problem in der traditionellen Betriebswirtschaftslehre	42
22.1 Allgemeine Unternehmensführung und Planung	42
22.2 Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung	57
22.3 Finanzierung	60
22.4 Einkauf, Lagerhaltung und Produktion	60
22.5 Organisation	68
22.6 Absatz	70
Anmerkungen zu den Kapiteln 22.1 - 22.6	76
2.3 Ansätze zu einer allgemeinen Theorie des Sequentialentscheides	85
23.1 Weiterentwicklungen der Entscheidungstheorie	85
23.2 Ansätze in der Spieltheorie im besonderen	92
Anmerkungen zu den Kapiteln 23.1 und 23.2	99
2.4 Verfahren zur Behandlung spezieller Entscheidsequenzenprobleme	103

Seite

24.1 Vorbemerkungen 103

24.2 Die statistische Entscheidungstheorie 104

Anmerkungen zu Kapitel 24.2 114

24.3 Strukturierung und Lösung von Entscheidsequenzproblemen mit Hilfe der Graphentheorie 117

243.1 Ueberblick 117

243.2 Zur Netzplantechnik im besonderen 130

Anmerkungen zu den Kapiteln 243.1 und 243.2 140

24.4 Die dynamische Programmierung 148

Anmerkungen zu Kapitel 24.4 156

24.5 Die Methode "Branch-and-Bound" 160

Anmerkungen zu Kapitel 24.5 166

24.6 Weitere Verfahren der mathematischen Programmierung 168

Anmerkungen zu Kapitel 24.6 171

24.7 Die Simulation 173

Anmerkungen zu Kapitel 24.7 178

2.5 Weitere Ansätze 180

Anmerkungen zu Kapitel 2.5 188

3 Probleme und praktische Möglichkeiten bei der Festlegung von Entscheidungssequenzen 195

3.1 Vorbemerkungen 195

3.2 Besondere Probleme bei Entscheidungssequenzen 196

32.1 Offenstehende Varianten und Strategien 196

32.2 Die Ermittlung und Berücksichtigung der Konsequenzen und weiterer Auswirkungen der Strategien 201

32.3 Die Ziele des Aktors und die Bewertung der Konsequenzen 204

32.4 Arten und Bedeutung der Abhängigkeit zwischen Entscheidstufen 208

Seite

32.5 Die Möglichkeit des Informationszuwachses während der Durchführung einer Entscheidungssequenz 214

32.6 Entscheidmaximen und Sequentialentscheid 222

3.3 Bemerkungen zum gegenwärtigen Stand des Wissens über den Sequentialentscheid 225

Anmerkungen zu Teil 3 230

Literaturverzeichnis 238

Verzeichnis der Abbildungen

		Seite
Abb. 1	Einzelentscheidungen mit sicheren und mit unsicheren Konsequenzen	15
Abb. 2	Unsicherheit in einem strategischen Spiel	17
Abb. 3	Unsicherheit in einem Spiel gegen die Natur; Konsequenzen mit Eintreffenswahrscheinlichkeiten.	19
Abb. 4	Prinzip der rollenden Planung	53
Abb. 5	Zweistufiges Spiel gegen die Natur; Konsequenzen mit Eintreffenswahrscheinlichkeiten.	86
Abb. 6	Informationsbezirk eines Spielers	96
Abb. 7	Unsichere, durch den Zielbeitrag nicht determinierte Varianten.	199
Abb. 8	Dreistufige Entscheidungssequenz; Nutzenwerte nur zum Teil stufenindividuell.	210
Abb. 9	Zweistufiges Spiel gegen die Natur; Varianten unabhängig vom Zufall.	217

1 Betriebswirtschaftslehre und Entscheidungssequenzen

1.1 Das Problem

11.1 These

Zu den wichtigsten Kennzeichen der neueren Entwicklung der Betriebswirtschaftslehre zählt zweifellos ihre zunehmende Beeinflussung durch die Entscheidungstheorie. Wir halten die Veränderungen, welche die Betriebswirtschaftslehre unter diesem Einfluss immer noch erfährt, für ausserordentlich fruchtbar; auf die Gründe gehen wir im nächsten Kapitel ein. Gleichzeitig fürchten wir jedoch, dass die eingeleitete Entwicklung im Begriffe steht, auf halbem Wege steckenzubleiben. Es ist nämlich darauf hinzuweisen, dass die Entscheidungstheorie im wesentlichen immer noch eine Theorie des rationalen E i n z e l entscheides darstellt. Dementsprechend befasst sich die an ihr ausgerichtete Betriebswirtschaftslehre fast ausschliesslich mit der Frage nach der besten unter verschiedenen, der Unternehmung gleichzeitig offenstehenden Verhaltensmöglichkeiten. Dabei vernachlässigt sie offensichtlich den Gesichtspunkt der F o r t s e t z u n g: Es trifft ja kaum je zu, dass mit einem einzigen Wahlentscheid und seiner anschliessenden Durchführung der Zweck einer Unternehmung erfüllt ist und diese danach aufgelöst wird. Dass eine Unternehmung zumeist auf eine unbegrenzte Dauer angelegt ist, ist natürlich auch der Betriebswirtschaftslehre nicht entgangen. Mit ihrem einseitigen Interesse am Einzelentscheid unterstellt sie daher, die langfristig beste Unternehmungsführung bestehe in einer Folge nacheinander getroffener, optimaler Teilentscheide. Dass dies oft nicht zutrifft, dass das gesamthaft beste Verhalten vielmehr zumeist nur durch den Vergleich von ganzen Ketten von aufeinanderfolgenden Möglichkeiten zu erkennen ist und dass demgemäss die Beschäftigung mit dem Einzelentscheid nicht zu genügen vermag, sondern ein Ausbau sowohl der Betriebswirtschaftslehre als auch der Entscheidungstheorie hinsichtlich des S e q u e n t i a l entscheides nottut: diese These sei hier aufgestellt und soll im folgenden untermauert werden.

11.2 Zur bisherigen Entwicklung der Betriebswirtschaftslehre (1)

Als wissenschaftliche Disziplin etablierte sich die Betriebswirtschaftslehre zu Beginn dieses Jahrhunderts an den Hochschulen. Sie befasste sich zunächst vorwiegend mit deskriptiven und ethisch-normativen Fragen. Aus verschiedenen Gründen begann sie sich jedoch allmählich von diesen Forschungsrichtungen abzuwenden.

Zum einen gewann die Ansicht an Boden, dass sich Werturteile auch mit den Methoden der Wissenschaft letztlich nicht objektiv begründen liessen und normative Fragen deshalb im Rahmen der Betriebswirtschaftslehre nicht zu behandeln seien.

Zum anderen erwiesen sich die Beschreibungen und Systematisierungen der betrieblichen Wirklichkeit häufig als wenig brauchbar. Dies lag teilweise am schwachen Fundament der angewandten Methoden: allzu oft wurden persönliche Beobachtungen und Erfahrungen in unzulässiger Weise verallgemeinert und zu Rezepten einer erfolgreichen Unternehmensführung umgedeutet. Als Reaktion zeichnete sich in der Betriebswirtschaftslehre zunächst eine Entwicklung in Richtung auf eine r e i n e W i s s e n s c h a f t hin ab. Man setzte sich zum Ziel, vorerst unabhängig von konkreten Nutzanwendungen auf methodisch einwandfreie Weise aus empirischem Datenmaterial statistisch gesicherte Zusammenhänge zu ermitteln. So befasste man sich denn mit den Verläufen von Kostenkurven, den Beziehungen zwischen Faktoreinsatz und -ertrag, aber auch mit den Bestimmungsfaktoren des Konsumentenverhaltens, des Betriebsklimas, etc. Solche Untersuchungen sind nach wie vor verbreitet, namentlich in den Vereinigten Staaten. Sie haben sich in mancherlei Hinsicht als von grossem Wert erwiesen. Mit dem Anwachsen ihrer Zahl wurde jedoch eines immer deutlicher: Ihre Ergebnisse sind zumeist nur "hier und heute" gültig. Das heisst: Auf dem Gebiete der Betriebswirtschaftslehre finden sich nur ausnahmsweise Kausalbeziehungen naturwissenschaftlicher Art, bei denen dieselben Ursachen unter denselben Bedingungen zu

stets denselben Folgen führen. Beispielsweise kann die Bedeutung der gebotenen Sozialleistungen für die Anziehungskraft eines Unternehmens auf dem Stellenmarkt höchst unterschiedlich sein, je nach Land, Region, Konjunkturlage, Spezialisierungsgrad der Branche, etc. Bei einer so weitgehenden Relativierung der erarbeiteten Erkenntnisse musste man sich nun aber ernstlich fragen, ob der Schritt von der reinen zur angewandten Wissenschaft jemals vollziehbar sein werde. Wie sollten Unternehmungen einen praktischen Nutzen aus fremden Untersuchungen ziehen können, wenn die Voraussetzungen im eigenen Falle immer zumindest etwas anders lagen?

Als Ausweg bot sich in dieser Situation eine Abkehr der wissenschaftlichen Zielsetzung von inhaltlich-materiellen auf m e t h o d i s c h - f o r m a l e Fragestellungen an. Die Betriebswirtschaftslehre sollte dem Unternehmer nurmehr Methoden liefern, welche es diesem erlauben würden, die ihn interessierenden Antworten für seine konkreten Verhältnisse in einwandfreier Weise selbst herzuleiten. Die Verfahren zur Sammlung und Auswertung empirischen Datenmaterials, welche die deskriptive Betriebswirtschaftslehre verwendete, erwiesen sich auch für diesen Zweck als nützlich. Die bisher erarbeiteten, materiellen Erkenntnisse konnten dem Unternehmer zudem als Ausgangshypothesen dienen, die an den eigenen Verhältnissen zu überprüfen waren. Darüber hinaus benötigte der Unternehmer jedoch zusätzliche Unterstützung. Mit der Kenntnis der in seinem Falle geltenden Kosten- und Ertragsfunktionen wusste er beispielsweise noch nicht unmittelbar, welche Mengen er nun am besten produzieren und zu welchen Preisen er sie am Markte anbieten sollte. Um vom Wissen um die Zusammenhänge zum Erkennen des optimalen Verhaltens zu gelangen, sind, mit anderen Worten, weitere Schritte nötig.

Mit Methoden zur Bestimmung des günstigsten unternehmerischen Verhaltens beschäftigte sich innerhalb der Nationalökonomie bereits seit langer Zeit die M i k r o ö k o n o m i e . Nach dem zweiten Weltkrieg erfügte sie über ein gut ausgebautes theoretisches Gebäude auf diesem Gebiet; zu erwähnen ist na-

mentlich die Preistheorie. Es lag daher nahe, dass sich die Betriebswirtschaftslehre in der geschilderten Lage der Mikroökonomie zuwandte, um Nutzen aus den von ihr entwickelten Verfahren zu ziehen. Im deutschen Sprachbereich war es vor allem Erich Gutenberg, der diese Annäherung herbeiführte. Nach einiger Zeit zeigte es sich jedoch, dass die Methoden der Mikroökonomie auf Voraussetzungen beruhten, welche in der Betriebswirtschaftslehre als allzu krasse Einschränkungen empfunden werden mussten. So wurde etwa angenommen, der Unternehmer strebe ausschliesslich nach der Maximierung seines Gewinns, er sei über die wesentlichen Zusammenhänge vollkommen informiert und diese seien zudem, mathematisch gesehen, stetiger Natur. Unter solchen Voraussetzungen wurde das Problem der Ermittlung der erfolgreichsten unternehmerischen Betätigung zumeist zur blossen Frage der Beherrschung der Differentialrechnung. Damit soll hier keine Kritik an der Mikroökonomie geübt werden. Diese versucht, mit ihren Annahmen das Verhalten der Unternehmungen im a l l g e m e i n e n vorauszusagen. Ob ihr dies in genügendem Masse gelingt, ist eine Frage der Nationalökonomie, die hier nicht zur Debatte steht (2). Die Zielsetzung der Betriebswirtschaftslehre ist jedoch eine andere: Sie soll dem e i n z e l n e n Unternehmen dazu verhelfen, die in seinem speziellen Falle günstigste Verhaltensweise zu bestimmen. Es steht nun aber fest, dass in der Praxis ein erheblicher Teil der Unternehmungen nicht die Maximierung ihres Gewinnes anstrebt, die meisten betriebswirtschaftlichen Zusammenhänge nicht-stetig sind und vollkommene Informiertheit, wenn überhaupt, so nur in sehr wenigen Ausnahmefällen vorkommt. Damit wird gleichzeitig deutlich, dass die auf derartigen Voraussetzungen beruhenden mikroökonomischen Verfahren sich nur ausnahmsweise für betriebswirtschaftliche Zwecke eignen. Die Betriebswirtschaftslehre musste daher unbedingt wirklichkeitsnähere Methoden entwickeln. Dabei erwies sich nun die E n t s c h e i d u n g s t h e o r i e von grossem Nutzen.

Deren Entstehung ist nicht genau datierbar. Wurzeln können bereits in den Wahrscheinlichkeits-Berechnungen gesehen werden, die Pascal und Fermat im 17.

Jahrhundert zum rationalen Verhalten in Glücksspielen anstellten (3).

Zahlreiche Anstösse bei der Entwicklung der Entscheidungstheorie gingen sodann vom Operations Research aus. Diese ursprünglich zu militärischen Zwecken entwickelten, mathematischen Entscheidverfahren stellten nach dem zweiten Weltkrieg auch für die Methodik rationaler Betriebsführung einen grossen Fortschritt dar. So ermöglichten sie namentlich die Optimierung von Grössen, das heisst ihre Maximierung oder Minimierung unter Beachtung von Einschränkungen (wie beispielsweise bei der Bestimmung des gewinngünstigsten Produktionsprogramms unter Berücksichtigung der Kapazitätsgrenzen). Ferner trugen einige Verfahren des Operations Research auch der in der Praxis meist unvollkommenen Information Rechnung; dies durch den Einbezug von Wahrscheinlichkeiten in die Berechnungen. Andererseits waren die meisten Operations-Research-Methoden zur Lösung konkreter Einzelprobleme und nicht als allgemeine Problemlösungsverfahren entwickelt worden. Sie hingen damit an sehr speziellen Voraussetzungen, was den Spielraum ihrer Anwendbarkeit eng begrenzte. Um diese engen Grenzen zu sprengen und zu möglichst universell anwendbaren Entscheidverfahren zu gelangen, haben sich denn auch auffallend viele hervorragende Vertreter des Operations Research bei der Entwicklung und Anwendung der Entscheidungstheorie hervorgetan (4).

Die Spieltheorie schliesslich kann, da sie das beste Verhalten gegenüber den möglichen Verhaltensweisen anderer Personen zu bestimmen versucht, einesteils selbst bereits als ein spezieller Teil der Entscheidungstheorie angesprochen werden. Andererseits ist in dem 1944 erstmals erschienenen Standardwerk von Neumann und Morgenstern auch der vielleicht wichtigste einzelne Anstoss zur Entwicklung desjenigen Teils der Entscheidungstheorie zu sehen, der heute im Vordergrund des Interesses steht, nämlich der "Spiele gegen die Natur" (5).

Die ersten mehr oder weniger umfassenden Arbeiten zur modernen Entschei-

dungstheorie sind vor rund zwanzig Jahren veröffentlicht worden (6). Das berühmt gewordene Santa Monica Seminar vereinigte einen grossen Teil der bedeutendsten Entscheidungstheoretiker und dürfte durch die daraus hervorgegangenen Texte die Entwicklung stark beschleunigt haben (7).

Es fällt, besonders bei den frühen Beiträgen zur Entscheidungstheorie, auf, dass ein erheblicher Teil der Arbeiten von Psychologen stammt (8). Eine Abgrenzung ist hier nötig: Unter der Bezeichnung "Entscheidungstheorie" werden in der Psychologie Versuche verstanden, das tatsächliche Verhalten von Menschen und Tieren in Wahlsituationen zu erklären und vorauszusagen. Es handelt sich somit um eine deskriptive Fragestellung, die als solche in der modernen Betriebswirtschaftslehre von untergeordneter Bedeutung ist; die Gründe hierfür wurden bereits erwähnt.

Von besonderer Bedeutung für die Betriebswirtschaftslehre ist demgegenüber die p r ä s k r i p t i v e Entscheidungstheorie geworden. Diese befasst sich ebenfalls mit dem Verhalten in Wahlsituationen, fragt jedoch nicht, wie dieses in der Wirklichkeit ausfällt, sondern legt Bedingungen fest, unter denen ein Verhalten r a t i o n a l genannt werden kann. Sie gibt, anders ausgedrückt, Anleitungen für Menschen, die in irgendeinem Lebensbereich vor eine Wahl gestellt sind und dabei einen rationalen Entscheid treffen wollen. Auf die verschiedenen Auffassungen des Begriffs der Rationalität und die damit verbundene Diskussion soll hier nicht näher eingegangen werden (9). Unsere Haltung in dieser Frage sei vorläufig wie folgt umrissen: Wir erblicken die Rationalität in der Art und Weise, wie ein Entscheid gefällt wird. Es können dabei rationale von nicht-rationalen Verfahren unterschieden werden. Die Einteilung ist nicht absolut, sondern hängt vom Typ der Wahlsituation ab, der jeweils vorliegt. Darauf wird im folgenden Kapitel noch kurz zurückzukommen sein. Mit der Unterscheidung wird unterstellt, dass gesteckte Ziele durch eine rationale Entscheidfällung am ehesten zu erreichen sind.

Als allgemein anwendbare Methoden zur Bestimmung des für die einzelne Unter-

nehmung günstigsten Verhaltens hatten sich die Ansätze der Mikroökonomie und des Operations Research nicht erwiesen. Es lag daher nahe, dass sich etliche Betriebswirtschafter recht bald der präskriptiven Entscheidungstheorie zuwandten (10). Diese hatte in der Tat gewichtige Vorzüge aufzuweisen: Sie liess sich nicht nur unter der Voraussetzung vollkommener Information, sondern auch bei verschiedenen Graden unvollkommener Informiertheit anwenden. Das Entscheidungsproblem konnte irgendeinen Bereich betreffen, der Entscheidende durfte beliebige (auch mehrere) Ziele verfolgen. Eine Mathematisierbarkeit des Problems war nur in gewissen Fällen und nur in sehr eingeschränktem Masse erforderlich.

Auch in der deutschsprachigen betriebswirtschaftlichen Literatur hat sich daher in den letzten Jahren eine deutliche Tendenz herausgebildet, die Entscheidungstheorie als methodisches Grundgerüst jeder Lehre von der Unternehmungsführung zu betrachten. In nahezu allen Teilgebieten der Betriebswirtschaftslehre sind Bestrebungen zu ihrer entscheidungstheoretischen Umgestaltung erkennbar. Wir sehen darin einen Fortschritt in verschiedener Hinsicht:

Als Kernproblem in allen Bereichen der Unternehmungsführung ist die Entscheidung im Sinne der Wahl des besten Weges erkannt worden.

Als Folge dieser Erkenntnis ist eine stärkere Zweckbezogenheit in vielen betriebswirtschaftlichen Abhandlungen festzustellen. "L'art pour l'art" ist seltener geworden; Weiterentwicklungen, losgelöst von praktischen Bedürfnissen, wie etwa im Rechnungswesen, rufen rascher der Frage nach dem Wozu.

Die vorrangige Beschäftigung mit den eigentlichen Entscheidungsproblemen im Betrieb hat auch zu einer Aufweichung der Grenzen zwischen den traditionellen Teilgebieten der Betriebswirtschaftslehre, ja zu einer Integrationstendenz geführt. Man ist sich stärker bewusst geworden, dass ein Problem, welches im Absatzbereiche auftaucht, deswegen nicht auch schon ein Absatzproblem zu sein braucht, sondern seine Ursachen beispielsweise ebensogut im Produktions-

sektor haben kann (11). Solcher Zusammenhänge wegen ist die weitgehend unabhängige Entwicklung von Rechnungswesen, Produktionstheorie, Finanzierungs-, Organisations-, Absatzlehre, etc. im Rahmen der Betriebswirtschaftslehre mehr und mehr in Frage gestellt worden.

Durch die fast universell anwendbare Terminologie und Methodik der Entscheidungstheorie ist schliesslich die interdisziplinäre Behandlung von Unternehmungsproblemen in der Praxis erleichtert und die eben erwähnte Annäherung zwischen betriebswirtschaftlichen Teilbereichen zusätzlich gefördert worden.

Bevor wir nach der Aufzählung dieser Vorzüge nun auf unsere eingangs geäusserte Ansicht zurückkommen, dass all dies zwar schön und gut, jedoch nicht genügend sei, ist es angezeigt, kurz einige wesentliche Begriffe und Grundsätze der Theorie des rationalen Einzelentscheides darzustellen. Dabei sollen auch die wichtigsten Symbole eingeführt werden, die wir im weiteren Verlauf der Arbeit verwenden werden.

11.3 Die Theorie des rationalen Einzelentscheides

Die Entscheidungstheorie ist noch zu jung, als dass bereits Einigkeit über alle von ihren Anhängern verwendeten Begriffe, Methoden, Axiome, etc. herrschen könnte. Wir haben im vorangehenden Kapitel schon auf die umstrittene Bedeutung des Begriffes "rational" hingewiesen. Immerhin hat sich diesbezüglich die Grundansicht durchgesetzt, zu der wir uns dort ebenfalls bekannt haben: Rationalität ist in der Methode zu sehen, mit der ein Entscheid gefällt wird, nicht im konkreten Inhalt, den dieser schliesslich aufweist, oder in den Zielen, welche damit verfolgt werden. W i e jedoch Entscheidungen im einzelnen zu treffen sind, damit sie als rational bezeichnet werden können, darüber gehen die Meinungen auseinander. Es können indessen zwei Hauptrichtungen unterschieden werden (12): Die eine verlangt, grob gesprochen, dass kompromisslos die beste aller möglichen Verhaltensweisen ermittelt wird; die andere macht Abstriche an dieser Idealforderung, die mit dem damit verbundenen Aufwand und

den beschränkten Fähigkeiten des entscheidenden Menschen gerechtfertigt werden. Für die Zwecke dieser Darstellung schliessen wir uns hier zunächst der ersten Richtung an. Bei allen Unterschieden zwischen verschiedenen Autoren lässt sich dann etwa das folgende Grundschema von Schritten erkennen, nach dem eine Entscheidung zu erfolgen hat, um als rational zu gelten:

Am Ausgangspunkt steht die Feststellung, dass ein Entscheidungsproblem besteht. Von einem solchen kann dort gesprochen werden, wo einerseits die Lage, in der sich jemand befindet, nicht den gesteckten Zielen entspricht (oder sich von diesen wegzuentwickeln droht), und wo andererseits mehrere Verhaltensmöglichkeiten offenstehen. Anders ausgedrückt: Wer sich definitiv am Ziel seiner Wünsche befindet, der braucht keine Entscheide mehr zu fällen; wem nur eine einzige Verhaltensweise zur Verfügung steht, der kann nicht wählen.

Der "jemand", der vor einem Entscheidungsproblem steht, wird in der deutschsprachigen Literatur zumeist als "A k t o r", seltener auch als der "Entscheidende" bezeichnet. Die beiden Ausdrücke werden nicht nur für Einzelpersonen, sondern auch für Personenmehrheiten, wie zum Beispiel Unternehmungen, verwendet.

Damit ein Entscheidungsproblem überhaupt festgestellt werden kann, muss Klarheit über die Z i e l e des Aktors herrschen. Dies erlaubt, die Lage des Aktors zu beurteilen und in einem Soll-Ist-Vergleich allfällige Lücken in der Zielerreichung zu erkennen. Ein Ziel sei hier mit dem Symbol "z_i" bezeichnet.

Nach der obigen Definition kann ein Entscheidungsproblem ferner nur dann vorliegen, wenn der Aktor die Wahl zwischen verschiedenen Möglichkeiten des Verhaltens hat. Diese verschiedenen Verhaltensmöglichkeiten werden in der Entscheidungstheorie als "V a r i a n t e n" bezeichnet (13). Eine einzelne Variante wird von uns mit "v_j" symbolisiert.

Entscheidungstheoretiker, welche eine kompromisslose Rationalität anstreben, verlangen vom Aktor, dass er beim Vorliegen eines Entscheidungsproblems a l l e ihm offenstehenden Varianten zusammenstelle. Genau gesehen ist dies eine sehr weitreichende Forderung, da mit dem Begriff der "Verhaltensmöglichkeit" keine Aussage bezüglich deren Eignung zur Erreichung der Ziele des Aktors verbunden ist. Grundsätzlich wären demnach zur Lösung eines Problems auch völlig absurde, dem Aktor jedoch offenstehende Massnahmen in Betracht zu ziehen. Praktisch könnte dies beispielsweise bedeuten, dass eine Unternehmung zur Steigerung ihres Umsatzes neben offensichtlichen Massnahmen, wie "Preis um 10 % reduzieren" oder "Fr. 300.000,- für zusätzliche Inseratenwerbung einsetzen", auch Varianten wie "50 Angestellte entlassen" oder "Fassade des Fabrikationsgebäudes renovieren" erwägen sollte. Eine solche Forderung lässt sich theoretisch natürlich damit begründen, dass sich die geeignetste Variante oftmals nicht unter den offensichtlichen findet (14), dass "rational" auch "frei von Vorurteilen" bedeuten müsse. Andererseits lässt sich leicht ermessen, wie ungemein gross die Zahl der Varianten in den meisten praktischen Entscheidfällen ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass als Varianten nicht nur einzelne Massnahmen, sondern auch alle mit den letzteren herstellbaren Kombinationen zu verstehen sind (15). Im vorangehenden Beispiel könnte eine Variante somit darin bestehen, sowohl den Preis um 10 % zu senken, als auch 50 Angestellte zu entlassen; eine weitere Variante könnte durch die Kombination von Fassadenrenovation, Verstärkung der Anzeigenwerbung und Preisermässigung gebildet werden. Vollständigkeitshalber sei schliesslich erwähnt, dass auch die Möglichkeit, nichts zu tun, die Dinge sich selbst zu überlassen, eine Variante darstellt.

Mathematisch-formal ausgedrückt verfügt der Aktor über bestimmte Entscheidungsvariablen e_k, wie hier über den Preis (e_1), das Budget für Inseratenwerbung (e_2), die Angestelltenzahl (e_3), sowie die baulichen Möglichkeiten (e_4). Er ist imstande, gewisse Werte e_{km} dieser Variablen zu verwirklichen. Beispielsweise könnte er, ausgehend von einer Belegschaft von 600 Personen,

einen Personalabbau auf 550 Personen (e_{31}) oder eine Bestandeserhöhung auf 635 Personen (e_{32}) durchführen. Diese realisierbaren Variablenwerte stellen somit die dem Aktor offenstehenden Einzelmassnahmen dar. Eine Variante v_j kann als Vektor (e_{km}) angesehen werden, der sich aus den entsprechenden Werten der einzelnen Entscheidungsvariablen zusammensetzt (16). Besteht die Variante aus einer einzigen Massnahme, so reduziert sich der Vektor auf einen Skalar.

Hat der Entscheidende alle ihm offenstehenden Varianten zusammengestellt, so verlangt die Entscheidungstheorie als nächsten Schritt die Ermittlung von deren K o n s e q u e n z e n. Darunter sind die Veränderungen zu verstehen, die sich bei einer Durchführung der Varianten an der gegenwärtigen Lage des Aktors ergeben würden. Als allgemeines Symbol für eine Konsequenz wird hier "k_n" verwendet. Dabei gilt zunächst analog, was zuvor für die Varianten gesagt wurde: Eine Konsequenz ist grundsätzlich als Vektor aufzufassen, der sich aus den Werten mehrerer Einzelvariablen zusammensetzen kann. Ein Personalabbau könnte zum Beispiel gleichzeitig zu einer Kostenreduktion, zu einer Verringerung der Produktion und zu einer Verschlechterung des Rufes der Firma führen.

In der Betrachtungsweise der Funktionentheorie können die Entscheidungsvariablen des Aktors als unabhängige Variablen angesehen werden, die zu Veränderungen bei den abhängigen Konsequenzenvariablen führen.

Wenn die Konsequenzen aller Varianten ermittelt worden sind, müssen sie b e w e r t e t werden. Ein Güte-Urteil hat sich an den Zielen des Entscheidenden auszurichten. Strebt die Unternehmung ausschliesslich eine Umsatzsteigerung an, so hat die Kostenreduktion im Gefolge der Variante "Personalabbau" keine Bedeutung. Die beiden anderen Einzelkonsequenzen, die Produktionsverringerung und die Verschlechterung des Firmenrufes, sind hingegen vom Ziel der Umsatzsteigerung aus gesehen möglicherweise negativ zu bewerten.

Oefters unterwirft ein Aktor auch die Varianten selbst, nicht nur deren Auswirkungen, seinem Werturteil. Als Beispiel können Unternehmer dienen, welche Geschäfte mit den Ostblockstaaten aus ideologischen Gründen ablehnen. Im Extremfall ist, von den Zielen aus gesehen, die Variante allein von Bedeutung; ihre Auswirkungen sind dagegen gleichgültig. Die Durchführung einer Variante stellt unter diesen Umständen ein Handeln als Selbstzweck dar. Umgekehrt können für einen Aktor auch allein die erzielten Wirkungen zählen; der Zweck heiligt für ihn, mit anderen Worten, jedes Mittel.

Nach der Bewertung der Konsequenzen und allenfalls der Varianten selbst erfolgt die eigentliche E n t s c h e i d u n g. Auf Grund der Bewertungsergebnisse wird unter allen offenstehenden Varianten eine zur Durchführung ausgewählt. Die Wahl richtet sich nach der sogenannten Entscheid m a x i m e oder Entscheid r e g e l des Aktors, welche besagt, wie die Bewertungsergebnisse dabei zu berücksichtigen sind. Ist der Aktor ein Anhänger einer kompromisslosen Rationalitätsauffassung, so wird seine Entscheidmaxime stets in irgendwelcher Form die Anweisung enthalten, die Variante mit der besten Beurteilung auszuwählen.

Im grossen und ganzen lassen sich alle in der Literatur als streng rational bezeichneten Entscheidungsmethoden auf das soeben skizzierte Grundschema "Feststellen eines Entscheidungsproblems - Zusammenstellung der Varianten - Ermittlung und Bewertung der Konsequenzen - Wahl der bestmöglichen Variante" zurückführen. Als einzige wesentliche Abweichung davon ist wohl das Einfügen eines Schrittes "P r o b l e m a n a l y s e" zwischen die Feststellung des Entscheidungsproblems und die Zusammenstellung der Varianten zu bezeichnen. Durch diesen sollen die Ursachen für die Abweichung zwischen der Lage und den Zielen des Aktors ermittelt werden. Die betreffenden Autoren versprechen sich davon ein gezielteres, weniger aufwendiges Vorgehen bei den nachfolgenden Entscheidschritten. Kenne man die Problemursachen, so wird etwa argumentiert, so brauche man sich nicht mit untauglichen Mitteln

zu ihrer Behebung abzugeben. Es würden danach nur noch mehr oder weniger zweckmässige Varianten näher untersucht. Hier bleibt lediglich die Frage offen, wie bei der Problemanalyse vermieden werden kann, sich mit falschen Ursachen-Hypothesen zu befassen. Es gibt dafür ebensowenig ein sicheres Verfahren wie zur Aufstellung ausschliesslich sinnvoller Varianten (17).

Von den Auffassungen, welche bei der Definition rationaler Entscheidungsmethoden den damit verbundenen Aufwand oder die begrenzten Fähigkeiten des Menschen mitberücksichtigen, sei als bekannteste hier einzig diejenige von Herbert Simon erwähnt. Nach dessen Entwurf der "b e g r e n z t e n R a t i o n a l i t ä t" hat ein Aktor nicht nach der extremen (maximalen, minimalen oder optimalen), sondern lediglich nach einer befriedigenden Lösung zu suchen. Was als befriedigend angesehen werden kann, definiert er selbst, indem er sich vor der Entscheidung ein sogenanntes Anspruchsniveau vorgibt, im Sinne eines Zielerreichungsgrades, den es anzustreben gilt. Je nachdem, wie schwer oder wie leicht sich das festgelegte Anspruchsniveau nach den ersten Entscheidungen zu erreichen erweist, kann es der Aktor vor den folgenden Entscheiden nach eigenem Ermessen senken oder erhöhen (18).

Am Beispiel der Konzeption von Simon wird deutlich, dass unterschiedliche Definitionen der Rationalität von erheblichem Einfluss auf das praktische Vorgehen bei der Entscheidfindung sein können: Ein Anhänger der begrenzten Rationalität wird nach der Feststellung eines Entscheidungsproblems natürlich nicht sämtliche offenen Varianten erst einmal zusammenstellen, sondern von jeder einzelnen Verhaltensmöglichkeit unverzüglich die Konsequenzen ermitteln und eine Bewertung nach seinem Anspruchsniveau vornehmen. Sobald er auf diese Weise auf eine befriedigende Variante gestossen ist, ist die Entscheidung auch schon gefallen: er wird die betreffende Variante verwirklichen (19). Unter günstigen Umständen ist der Aufwand für die Entscheidfällung so natürlich sehr viel niedriger als bei einem "kompromisslos rationalen" Vorgehen. Andererseits ist eine Gefahr nicht zu verkennen, die allen Ansätzen

innewohnt, welche allgemeine und individuelle menschliche Eigenschaften bei der Definition rationalen Verhaltens mitberücksichtigen: Die Gefahr, dass das Pferd vom Schwanz her aufgezäumt wird, indem die betreffenden Entscheidungstheoretiker schliesslich das gewohnte Entscheidverfahren des Aktors erklären und es, nach dem Motto "tout comprendre, c'est tout pardonner", auch als rational bezeichnen, anstatt Anweisungen zu seiner Verbesserung zu geben (20).

Wichtige Verfeinerungen sind an allen Grundschemata rationalen Verhaltens, gleichgültig auf welche der beiden erwähnten Rationalitätsauffassungen sie zurückgehen, erforderlich, wenn der Aktor mehrere Ziele gleichzeitig verfolgt oder wenn die Konsequenzen von Verhaltensvarianten nicht mit Sicherheit vorausgesagt werden können.

Bei der Verfolgung von m e h r e r e n Z i e l e n kann sich der Aktor vor ein Dilemma gestellt sehen. So kann der Entscheid zum Bau einer Abwasser-Kläranlage einer Unternehmung einerseits einen besseren Ruf, andererseits einen niedrigeren Reingewinn eintragen, der Verzicht auf eine solche Anlage hingegen zu umgekehrten Konsequenzen führen. Legt die Unternehmung sowohl auf ihren Reingewinn als auch auf ihren Ruf wert, so wird sie in einem solchen Falle nicht darum herum kommen, die relative Bedeutung festzulegen, die sie jedem der beiden Ziele beimisst. Eine solche Gewichtung ist ebenso subjektiv wie der Inhalt der Ziele selbst. Sie ermöglicht es, die Konsequenzen hinsichtlich des Rufes und hinsichtlich des Reingewinns auf einen gemeinsamen Nenner zu bringen, beziehungsweise die Teil-Beurteilungen zu je einem Gesamturteil über jede der beiden Varianten zu aggregieren und so zu einem Entscheid für oder gegen den Kläranlagen-Bau zu gelangen.

Die Bedeutung der U n s i c h e r h e i t hinsichtlich der zu erwartenden Konsequenzen für die Entscheidfindung geht am deutlichsten aus einer direkten Gegenüberstellung mit dem Fall der Sicherheit hervor (Abb. 1):

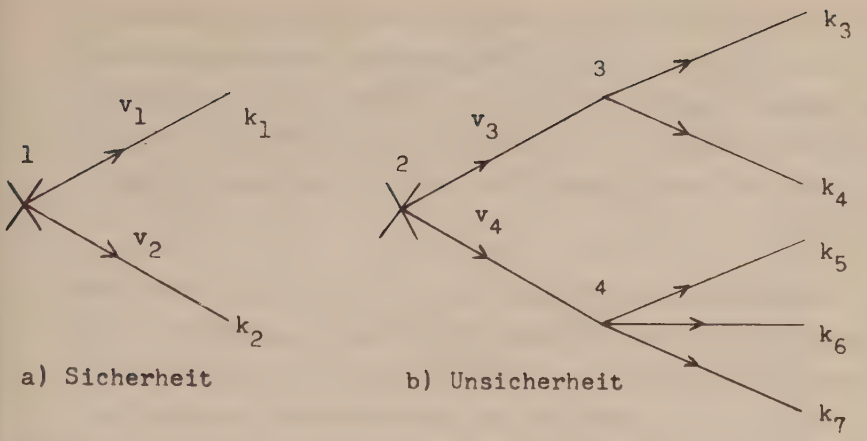

Abbildung 1: Einzelentscheidungen mit sicheren und mit unsicheren Konsequenzen

Die hier gewählte Graphen-Darstellung wird meist als B a u m - Darstellung bezeichnet. Bei den mit einem Kreuz (X) speziell gekennzeichneten Knotenpunkten (hier die Knotenpunkte Nr. 1 und Nr. 2) handelt es sich um Entscheidungsknotenpunkte. Diese kennzeichnen eine Lage, in der der Aktor eine Wahl zwischen verschiedenen Varianten (hier v_1 oder v_2, resp. v_3 oder v_4) treffen muss. Im Falle der Sicherheit führt dabei jede Variante zu ganz bestimmten Konsequenzen (k_1, resp. k_2). Der Aktor weiss somit im Augenblick seiner Entscheidung genau, wohin diese führen wird. Nicht so im Falle der Unsicherheit. Dieser ist gegeben, wenn auch nur eine der offenstehenden Varianten unterschiedliche Konsequenzen zur Folge haben könnte, von denen der Entscheidende nicht mir Bestimmtheit vorauszusagen vermag, welche tatsächlich eintreten würde (21). In Abbildung 1 sind sowohl die Konsequenzen von Variante 3 als auch diejenigen von Variante 4 unsicher. Dies ist dadurch gekennzeichnet, dass nach der in Knotenpunkt 2 erfolgten Entscheidung des Aktors zugunsten von Variante 3 oder Variante 4 nochmals ein Knotenpunkt (Nr. 3, resp. Nr. 4) erscheint, von dem aus die verschiedenen möglichen Konsequenzen (k_3 oder k_4, resp. k_5, k_6 oder k_7) abzweigen.

Eine rationale Wahl ist hier nur dann noch ohne weiteres möglich, wenn die eine Variante die andere d o m i n i e r t, das heisst, Konsequenzen aufweist, die der Aktor durchwegs besser bewertet als alle Konsequenzen der anderen Variante. Das Ergebnis wird bei Durchführung der dominierenden Variante somit in jedem Falle besser ausfallen, als dies bei der unterlegenen Variante möglich wäre.

Ist eine derartige Dominanz nicht gegeben, so muss weiter unterschieden werden, welche spezielle Form von Unsicherheit vorliegt. Hauptfälle sind die Unsicherheit, wie sie in strategischen Spielen auftritt, und die Unsicherheit in Spielen gegen die Natur. Diese beiden Unsicherheitsformen treten häufig gemischt im gleichen Entscheidungsproblem auf.

In s t r a t e g i s c h e n S p i e l e n hängt die Konsequenz, welche sich bei der Wahl einer bestimmten Variante durch den Aktor einstellt, vom Verhalten eines anderen Aktors oder auch mehrerer anderer Aktoren ab. Als Beispiel kann hier wiederum die bereits erwähnte Unternehmung dienen, die unter anderem mit einer Preissenkung um 10 % eine Steigerung ihres Umsatzes bezweckt. Die Folgen eines solchen Schrittes hängen in der Regel stark davon ab, wie die Konkurrenten am Markt darauf reagieren. Senken diese ihre Preise um denselben oder gar um einen höheren Prozentsatz, so dürfte der Zweck des Aktors kaum erreicht werden; belassen sie dagegen ihre Preise auf dem bisherigen Niveau, so wird die Unternehmung ihren Umsatz schon eher steigern können.

Liegt ein strategisches Spiel vor, so kann die in Abbildung 1 wiedergegebene Unsicherheits-Situation in der folgenden Weise ergänzt werden (Abbildung 2).

Die von den Knotenpunkten 3 und 4 abgehenden Pfeile v_a, v_b und v_c stellen hier die Varianten eines anderen Aktors oder, in der Ausdrucksweise der Spieltheorie, die Züge eines Gegenspielers dar. Wählt der Aktor Variante v_3, der Gegenspieler Variante v_a, so ergibt sich für den Aktor die Konsequenz k_3;

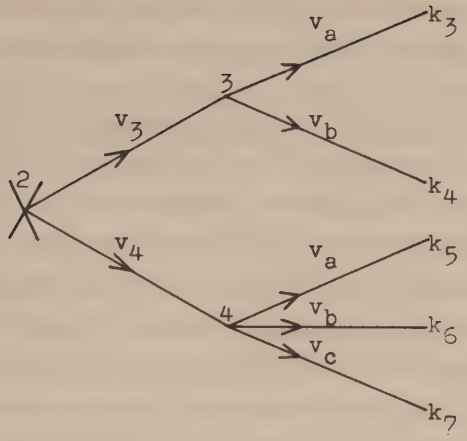

Abbildung 2: Unsicherheit in einem strategischen Spiel

antwortet der Gegenspieler jedoch mit v_b, so muss der Aktor mit Konsequenz k_4 rechnen, usw.

Der Kern der Verfahren, welche die Spieltheorie für die Lösung derartiger Entscheidungsprobleme bisher entwickelt hat, kann wie folgt beschrieben werden: Es wird angenommen, dass alle an einem strategischen Spiel beteiligten Aktoren nicht nur ihre eigenen Varianten, sondern auch die Verhaltensmöglichkeiten aller anderen "Spieler" kennen. Darüber hinaus weiss jeder Aktor nicht nur, welche Konsequenzen sich bei jeder möglichen Kombination eigener und fremder Verhaltensweisen für ihn persönlich ergeben würden, sondern er kennt auch die Auswirkungen in allen diesen Fällen für sämtliche übrigen Beteiligten. Die konkrete Gesamtsituation ist nun vom einzelnen Aktor daraufhin zu untersuchen, ob sie ein Gleichgewicht aufweist, das heisst, ob alle Beteiligten durch die Wahl einer bestimmten eigenständigen Verhaltensweise die für sie (unter diesen Umständen) optimale Konsequenz erwarten können, oder ob durch eine Kooperation mit anderen Spielern eine noch günstigere Lösung erreicht werden könnte. Auf die Einzelheiten spieltheoretischer Entscheidver-

fahren bei Zwei-Personen- und Mehr-Personen-, Nullsummen- und Nicht-Nullsummen-Spielen, etc., ist hier nicht näher einzutreten (22).

Die zweite Hauptform der Unsicherheit tritt in den sogenannten "Spielen gegen die N a t u r" auf. Vom Aktor aus betrachtet bestimmt hier der Z u f a l l darüber, welche der verschiedenen möglichen Konsequenzen sich bei der Durchführung einer Variante tatsächlich einstellt. Punkte wie die Nummern 3 und 4 in Abbildung 1 b werden deshalb in solchen Fällen als Zufallsknotenpunkte bezeichnet. Ein besonders deutliches Beispiel von Zufallseinfluss zeigt sich bei der Sortiments- und Produktpolitik der Kleiderbranche: Der Erfolg einer Regenmantelkollektion etwa fällt je nach Wetterverlauf sehr unterschiedlich aus. Das Geschäft mit Regenartikeln stellt somit in einem sehr engen Wortsinne ein Spiel gegen die Natur dar. Zum Begriff der "Natur" im entscheidungstheoretischen Sinne zählen aber auch Faktoren wie Mode, Kaufkraft, etc. Generell bezeichnen wir damit alle Bedingungen, unter denen die Varianten zur Auswirkung gelangen und auf die der Aktor unmittelbar keinen Einfluss hat (23). Eine ganz bestimmte, konkrete Konstellation dieser Bedingungen wird eine "S i t u a t i o n" oder ein "Z u s t a n d d e r U m w e l t" genannt.

Der wesentliche Unterschied zwischen strategischen Spielen und Spielen gegen die Natur besteht darin, dass die Natur zwar die Konsequenzen des Aktors ebenfalls beeinflusst, ihr Verhalten aber, anders als ein Gegenspieler, nicht bewusst darauf abstimmt und auswählt. Damit kann der Unsicherheit in Spielen gegen die Natur grundsätzlich mit Wahrscheinlichkeits-Ueberlegungen zu Leibe gerückt werden.

Dass die Wahrscheinlichkeitsrechnung in solchen Entscheidungsproblemen tatsächlich zu Hilfe genommen werden kann, setzt vor allem voraus, dass es gelingt, Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten der verschiedenen möglichen Konsequenzen anzugeben. Ob dies gelingt, hängt wiederum in hohem Masse davon ab, ob sich der Aktor eine o b j e k t i v e oder eine s u b j e k t i v e Auf-

fassung der W a h r s c h e i n l i c h k e i t zu eigen macht. Ohne hier auf den Streit zwischen Objektivisten und Subjektivisten näher einzutreten (24) steht fest, dass die Anforderungen der ersteren an den Wahrscheinlichkeitsbegriff in betriebswirtschaftlichen Zusammenhängen praktisch nie, diejenigen der Subjektivisten hingegen fast immer erfüllbar sind.

Lassen sich in Spielen gegen die Natur den unsicheren Konsequenzen objektive oder subjektive Wahrscheinlichkeiten zuordnen, so steht der Aktor graphisch gesehen vor der folgenden Lage (Abbildung 3):

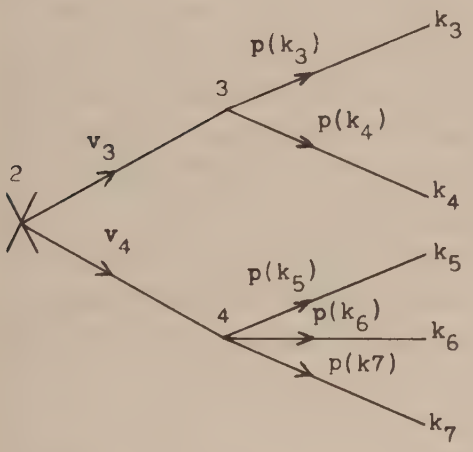

Abbildung 3: Unsicherheit in einem Spiel gegen die Natur; Konsequenzen mit Eintreffenswahrscheinlichkeiten.

Eine Symbolik in der Art von $p(k_n)$ zur Darstellung der Wahrscheinlichkeit des Eintritts von Konsequenz n ist in entscheidungstheoretischen Zusammenhängen am gebräuchlichsten. Sie ist jedoch ungenau, da sie eine unbedingte Zustands-Wahrscheinlichkeit ausdrückt, wo es sich in Tat und Wahrheit um eine bedingte Uebergangswahrscheinlichkeit handelt. Genau gesprochen geht es um die Wahr-

scheinlichkeit, dass die gegenwärtige Lage des Aktors bei Durchführung einer bestimmten Variante j in einen bestimmten Folgezustand k_n übergeht. Bezeichnet man die Ausgangslage des Aktors mit k_0, so wäre demnach anstelle von $p(k_n)$ eigentlich die Schreibweise $p(k_0 k_n \mid v_j)$ angebracht.

Zusätzlich kann schliesslich ausgedrückt werden, dass die Wahrscheinlichkeiten des Konsequenzeneintritts auch vom "Verhalten" der Natur abhängen. Wählt man für die möglichen Situationen, die bei der Verwirklichung der Varianten herrschen können, das Symbol s_m, so ergibt sich allgemein der folgende Ausdruck für die demnach doppelt bedingten Wahrscheinlichkeiten: $p(k_0 k_n \mid v_j, s_m)$.

Mit der Berücksichtigung der herrschenden Situation können die Wahrscheinlichkeiten für den Eintritt der verschiedenen Konsequenzen genauer bestimmt werden. Es ist jedoch unmöglich, unter dem Etikett des Vektor-Begriffes "Situation" in praktischen Entscheidungsproblemen a l l e Bedingungen zu erfassen, welche die Konsequenzen mitbestimmen. Stets muss man "aus der Totalinterdependenz der Wirklichkeit... Teilzusammenhänge ausgliedern, um die... Abhängigkeiten zu untersuchen" (25). Die Problembehandlung kann mit anderen Worten immer nur an einem M o d e l l erfolgen, das der Wirklichkeit zwangsläufig mehr oder weniger Gewalt antut. Infolgedessen kann auch die Einbeziehung von Situationsfaktoren Wahrscheinlichkeits-Aussagen nur graduell verbessern; sie ist nicht grundsätzlich erforderlich.

Die Lage an einem Zufallsknotenpunkt wird, wenn sie durch Wahrscheinlichkeiten näher gekennzeichnet ist, als "L o t t e r i e" bezeichnet, denn sie bietet sich dem Aktor, der eine Variante gewählt hat, gleich dar wie jemandem, der soeben ein Los gekauft hat: Er kennt die verschiedenen möglichen Konsequenzen (die Treffer und Nieten) samt ihren Eintreffenswahrscheinlichkeiten und kann jetzt nur noch abwarten, wie der Zufall tatsächlich entscheidet. Im Unterschied zum Fall der Sicherheit (vgl. Abb. 1 a) entscheidet sich somit ein Aktor in einem Spiel gegen die Natur mit der Wahl einer Variante

nicht zugleich für eine bestimmte Konsequenz, sondern für die Teilnahme an einer bestimmten Lotterie.

Eine Lotterie wird gekennzeichnet durch die Angabe der möglichen Konsequenzen und ihrer Eintreffenswahrscheinlichkeiten; Lotterie 4 im Beispiel von Abbildung 3 somit durch: $L_4 = (p(k_5), k_5; p(k_6), k_6; p(k_7), k_7)$.

Lassen sich in einem Spiel gegen die Natur Wahrscheinlichkeiten für die verschiedenen Konsequenzen angeben, so hängt die Methodik der rationalen Entscheidfindung weiter davon ab, ob Quasi-Sicherheit oder stochastische Unsicherheit vorliegt.

Von Q u a s i - S i c h e r h e i t wird gesprochen, wenn objektive Wahrscheinlichkeiten für die Konsequenzen ermittelt werden konnten und der Aktor zudem so oft vor dieselbe Entscheidung gestellt ist, dass die relativen Häufigkeiten der sich dabei jedesmal einstellenden Zufallsergebnisse schliesslich mit den objektiven Wahrscheinlichkeiten übereinstimmen. Die Anhänger eines kompromisslosen Rationalitätsbegriffes befürworten in einem solchen Falle fast durchwegs als Entscheidungsregel die Maximierung des Erwartungswertes. Im Beispiel von Abbildung 3 wäre demnach Variante 3 der Variante 4 vorzuziehen, falls gilt:

$(p(k_3) \cdot k_3) + (p(k_4) \cdot k_4) > (p(k_5) \cdot k_5) + (p(k_6) \cdot k_6) + (p(k_7) \cdot k_7)$

Im umgekehrten Falle wäre Variante 4 zu wählen.

Die Maximierung des Erwartungswertes setzt voraus, dass es sich bei den bewerteten Konsequenzen um quantitative Grössen handelt oder dass sie in solche umgewandelt werden können. Letzteres trifft beispielsweise zu, wenn die Axiome der Nutzentheorie nach von Neumann und Morgenstern gelten (26). Es wäre genau genommen dann allerdings von der Maximierung des erwarteten Nutzens zu sprechen.

Die Bezeichnung "Quasi-Sicherheit" und die vorgeschlagenen Entscheidregeln

täuschen leicht darüber hinweg, dass in den meisten dieser Entscheidfälle der Aktor durchaus ein Risiko eingeht. Wenn Gäfgen meint, "bei wachsender Zahl (gleichartiger Entscheide; Verf.) wird die Wahrscheinlichkeit von 'Glücksfällen' oder von 'Pechsträhnen' immer geringer" (27), so verkennt er wichtige statistische Zusammenhänge. Das Gesetz der grossen Zahl führt lediglich zur erwähnten Annäherung der relativen Häufigkeiten an die Wahrscheinlichkeiten. Gleichzeitig wird aber das Gesetz der Serie wirksam, welches besagt, dass mit einer Zunahme der Zahl der Ereignisse sich die Streuung vergrössert. Das heisst aber insbesondere auch, dass die Wahrscheinlichkeit von Pechsträhnen zunimmt (28). Wenn, was häufiger sein dürfte, die Konsequenzen nach jedem einzelnen Entscheid anfallen, also nicht erst nach dem letzten Entscheid eine "Gesamtrechnung" aufgestellt und beglichen wird, so kann sich der Aktor vor das sogenannte "gambler's ruin"-Problem gestellt sehen. Es nützt danach einer Unternehmung wenig, im Durchschnitt aller Fälle richtig zu liegen, wenn eine Pechsträhne zum Konkurs führt, bevor der Ausgleich nach dem Gesetz der grossen Zahl eintritt. Als einer der wenigen deutschsprachigen Entscheidungstheoretiker, der dieses Problem überhaupt sieht, weist Schneeweiss gleichzeitig auf die damit verbundene Fragwürdigkeit der Entscheidregel "Maximierung des Erwartungswertes" hin (29). Besteht bei Quasi-Sicherheit die Möglichkeit des Ruins des Aktors, so drängt sich unseres Erachtens die Anwendung von Entscheidregeln auf, wie sie ansonsten für die Fälle stochastischer Unsicherheit empfohlen werden.

Quasi-sichere Entscheidungsprobleme sind in betriebswirtschaftlichem Zusammenhange praktisch nicht anzutreffen. Sie setzen ja nicht allein objektive Wahrscheinlichkeiten, sondern darüber hinaus eine sehr häufige Wiederholung genau desselben Entscheides voraus. Hält der Aktor subjektive Wahrscheinlichkeitsurteile grundsätzlich für zulässig, so sieht sich eine Unternehmung hingegen häufig s t o c h a s t i s c h e r U n s i c h e r h e i t gegenübergestellt. Da hierbei nicht mit einem Ausgleich zahlreicher Einzelergebnisse nach Massgabe objektiver Wahrscheinlichkeiten zu rechnen ist, spielt die

R i s i k o h a l t u n g des Aktors eine wichtige Rolle. Es kommt, anders ausgedrückt, darauf an, ob der Aktor in solchen Fällen dazu neigt, seine Entscheidung nach dem mathematischen Erwartungswert der Konsequenzen auszurichten, oder als Optimist auf bessere Ergebnisse zu setzen, beziehungsweise als Pessimist eher mit einem unterdurchschnittlichem Abschneiden in "Lotterien" zu rechnen. Weil die Zufallsergebnisse verschiedener Einzelentscheidungen in der Regel als voneinander unabhängig angesehen werden müssen, kann bei stochastischer Unsicherheit nicht eine bestimmte Risikohaltung als die objektiv richtige ermittelt und dem Aktor vorgegeben werden. Vielmehr sind dessen persönliche Neigungen zu Risikoneutralität, Risikoscheu oder Risikofreude bei der Entscheidfindung in gleicher Weise zu respektieren, wie dies mit den subjektiven Zielen des Aktors und ihrem relativen Gewicht geschieht.

In der Theorie ist gegenwärtig die Maximierung des erwarteten Nutzens die am wenigsten umstrittene Entscheidungsregel im Falle stochastischer Unsicherheit. Sie setzt voraus, dass sich die Nutzenfunktion des Aktors ermitteln lässt, welche dessen Risikoneigungen widerspiegelt. Mittel dazu können mit dem Aktor speziell durchgeführte Experimente in Wahlsituationen (30), aber auch die Beobachtung und Auswertung der von ihm in der Wirklichkeit gefällten Entscheide sein. Ist die Nutzenfunktion des Aktors praktisch nicht oder nur teilweise zu ermitteln, so werden in der Literatur Entscheidmaximen vorgeschlagen, die auf den Erwartungswert der Konsequenzen, meist in Verbindung mit weiteren Grössen (wie möglicher Maximalverlust, Verlust-Wahrscheinlichkeit, Standardabweichung der Konsequenzen-Verteilung), abstellen (31).

Können in einem Spiel gegen die Natur den verschiedenen möglichen Konsequenzen keine Wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden, so befindet sich der Aktor in einer Lage, wie sie in Abbildung 1 b dargestellt ist. Eine solche wird als Fall r a t i o n a l e r I n d e t e r m i n i e r t h e i t bezeichnet. Der Ausdruck weist bereits darauf hin, dass bei einer so weitgehenden Unsicherheit nicht mehr guten Gewissens von der Möglichkeit rationalen Entscheidens ge-

sprochen werden kann. Selbst wenn von einer bestimmten Rationalitäts-Auffassung des Aktors ausgegangen werden kann, sind die in diesem Zusammenhange empfohlenen Entscheidungsmaximen (32) deshalb lediglich als unverbindliche Anregungen anzusehen.

Wie oft sich ein Aktor praktisch vor rational indeterminierte Entscheidprobleme gestellt sieht, hängt wiederum weitgehend davon ab, welche Ansprüche er an den Begriff der Wahrscheinlichkeit stellt. Ist er ein Objektivist, so wird dies für ihn der häufigste Fall sein. Ist er hingegen ein extremer Subjektivist, der jede Art von Gewissheitsgrad als Basis für ein Wahrscheinlichkeitsurteil akzeptiert, so wird er der rationalen Indeterminiertheit kaum je begegnen. Wer schon die verschiedenen möglichen Konsequenzen einer Variante vorauszusehen vermag, der dürfte ja zumeist auch imstande sein, ein irgendwie geartetes Urteil über deren relative Eintreffens-Aussichten zu formulieren (33).

Wir haben bereits darauf hingewiesen, dass die beiden Hauptformen von Unsicherheit zusammen auftreten können. In einem sehr häufig zu wiederholenden Einzelentscheid können theoretisch sogar spieltheoretische Unsicherheit, alle drei Formen von Unsicherheit gegenüber der Natur, sowie Sicherheit gleichzeitig vorkommen (34). Die Entscheidungstheorie vernachlässigt bisher solche gemischten Probleme leider fast vollständig (35). Allgemein ist festzustellen, dass auch bei der Fällung rationaler Einzelentscheide zahlreiche Aspekte von der Entscheidungstheorie immer noch kaum beachtet werden oder nur unbefriedigend gelöst sind. Für eine systematische Behandlung dieser offenen Probleme muss auf die einschlägige Literatur verwiesen werden (36). Wir werden uns nur mit einzelnen dieser Fragen im weiteren Verlauf der Arbeit noch befassen, und zwar lediglich insoweit als sie zu besonderen Schwierigkeiten bei der Bestimmung optimaler Entscheidungssequenzen führen. Aehnliches gilt für die zahlreichen Unterscheidungen, welche bei dieser Darstellung der Theorie des rationalen Einzelentscheides eingeführt wurden: Wir kommen lediglich dort darauf zurück, wo sie für den Sequentialentscheid

Folgen haben, die sich von denjenigen beim Einzelentscheid unterscheiden. Wenn nicht anders vermerkt, werden wir sonst von den folgenden Annahmen ausgehen:

Angestrebt wird uneingeschränkte Rationalität, das heisst, es soll die bestmögliche aller Varianten ermittelt werden.

Die Entscheidung ist stochastisch unsicher; sämtlichen Konsequenzen können zumindest sujektive Wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden. Der Einfluss der Situation wird nicht explizit berücksichtigt.

Entscheidungsregel ist die Maximierung des erwarteten Nutzens. Die Nutzenfunktion des Aktors ist bekannt und entspricht den von-Neumann-Morgenstern'schen Axiomen.

Wenn von Konsequenzen gesprochen wird, so sind darunter bereits bewertete und aggregierte Grössen, also Nutzenwerte, zu verstehen. Falls Varianten ebenfalls dem Werturteil des Aktors unterliegen, so kommt auch dies in den Nutzenwerten der entsprechenden Konsequenzen zum Ausdruck.

11.4 Existenz und Bedeutung eines eigenständigen Entscheidungssequenzen-Problems

Nachdem die Theorie des rationalen Einzelentscheides und ihr günstiger Einfluss auf die neuere Entwicklung der Betriebswirtschaftslehre dargestellt wurden, greifen wir hier unsere eingangs aufgestellte These wieder auf. Es gilt jetzt zu zeigen, dass unabhängig voneinander gefällte, zeitlich hintereinander verwirklichte Einzelentscheide in gewissen Fällen nicht das beste Gesamtergebnis versprechen und dass ferner solche Fälle in der Unternehmungspraxis dermassen häufig und von so grosser Bedeutung sind, dass Betriebswirtschaftslehre und Entscheidungstheorie sich viel eingehender mit ihnen befassen müssten, als dies bisher geschehen ist.

Zur Ueberpürfung unserer These gehen wir von der folgenden Ueberlegung aus: Jeder unabhängig getroffene Einzelentscheid muss direkt von den Zielen des Aktors her gerechtfertigt werden können (denn "unabhängig getroffen" bedeutet ja, dass darauffolgende und allenfalls weiterführende Entscheide nicht mit in die Ueberlegungen einbezogen werden). Dient demgegenüber ein erheblicher Teil praktischen unternehmerischen Verhaltens offensichtlich nicht unmittelbar der Zielerreichung, so ist zu vermuten, dass in den betreffenden Fällen das Optimum gemäss unserer These auf der Ebene ganzer Entscheidungssequenzen angestrebt wird.

Es zeigt sich rasch, dass in der Tat zahlreiche Verhaltensweisen nur in grösserem Zusammenhange, nicht aber als vernünftige Einzelentscheide zu erklären sind. Dies gilt beispielsweise für alle Massnahmen, mit denen die Kapazität (im weitesten Sinne) verändert wird. Da solche Massnahmen vorwiegend unerwünschte Konsequenzen wie Ausgaben zu verursachen pflegen, muss vorausgesetzt werden, dass der Aktor bei entsprechenden Beschlüssen gleichzeitig immer auch schon eine umso günstigere weitere Entwicklung ins Auge fasst. Analoges gilt für jedwede Informationsbeschaffung durch die Unternehmung. Damit soll nicht behauptet werden, in den betreffenden Fällen werde tatsächlich stets eine ganze Kette konkreter, aufeinanderfolgender Massnahmen geplant. Angenommen werden darf hingegen, dass selbst bei Marktuntersuchungen, Computersystemen, etc., deren Ergebnisse sich nachträglich als unbrauchbar erweisen, einige - wenn auch noch so verquere - Gedanken über das Wozu und das Was-weiter am Anfang gestanden haben.

Auch das Problem, mit der Unsicherheit über die zukünftige Entwicklung irgendwie fertigzuwerden, hat in der Wirtschaftspraxis zu Ansätzen eines Denkens in Entscheidungssequenzen geführt. Wenn etwa bei der Wahl zwischen einzelnen Varianten berücksichtigt wird, welchen Grad an Flexibilität hinsichtlich der weiteren Entwicklung diese dem Unternehmen bewahren würden, so kann bereits von einem solchen Ansatz gesprochen werden. Die Automobilindustrie

gestaltet neue Personenwagenmodelle öfters bewusst flexibel, um damit auch späteren Situationen gewappnet zu sein: Werden strengere Abgasvorschriften erlassen, so lässt sich die ursprüngliche Motorversion auch drosseln und der Wagen kommt mit Normalbenzin aus. Andererseits sind viele "Frisiermöglichkeiten" zunächst noch offengelassen, für den Fall dass die Kundschaft ein sportlicheres Fahrzeug verlangen sollte. Schliesslich werden zahlreiche Verbesserungsmöglichkeiten zunächst zurückgestellt, damit von Modelljahr zu Modelljahr mit entsprechenden "Fortschritten" aufgewartet werden kann (37). Im letzteren Falle dürfte schon eine eigentliche sequentielle Planung vorliegen. Um eine solche handelt es sich auch, wenn gleichzeitig mit dem Entscheid zugunsten bestimmter Massnahmen festgelegt wird, was zu geschehen hat, sollten sich diese als Fehlschlag erweisen. Derartige Eventualplanungen finden sich in der Praxis recht häufig. Diese begegnet der Prognoseunsicherheit ferner zuweilen auch dadurch, dass sie grosse und unwiderrufliche Schritte vermeidet, indem sie sie durch eine Folge kleinerer ersetzt. So schafft sich mancher Unternehmer lieber nach und nach fünf zusätzliche Maschinen zu Fr. 400.000,- an und prüft zwischenhinein jedesmal, ob der Auftragseingang nach wie vor befriedigend verläuft, als dass er sich zur Bestellung eines Grossaggregates entschliesst, welches für nur Fr. 1.300.000,- dieselben Leistungen erbringen würde.

An früherer Stelle haben wir als Situation die Bedingungen definiert, unter denen eine Variante zur Auswirkung gelangt und die dabei von der Variante selbst nicht beeinflusst werden. Die Definition deutete bereits an, dass die Situation für den Aktor nicht grundsätzlich unbeeinflussbar ist. Es sind denn auch zahllose Verhaltensweisen zu beobachten, mit denen offensichtlich bezweckt wird, den "Boden" für künftige Massnahmen vorzubereiten oder einen bestehenden, günstigen Zustand der Umwelt nach Möglichkeit zu erhalten. So rückte etwa die Kosmetik-Branche puritanischen Hemmungen gegenüber dem Gebrauch ihrer Produkte mit einem stufenweisen Vorgehen zu Leibe: Zunächst hob die Werbung nur die reinigende Wirkung der Erzeugnisse hervor, dann ihre Fähig-

keit der Hautpflege; noch später erst ging man dazu über, die Verwendung zum "Unterstreichen der natürlichen Schönheit" zu propagieren (38). In Stufen gehen die meisten Unternehmen auch vor, um einen säumigen Kunden zur Zahlung zu bewegen. Zwar würde eine Betreibung in der Regel unverzüglich zum Ziel führen. Weitere Bestellungen seitens also traktierter Kunden hätte eine Firma aber kaum zu erwarten. Aehnlich weitsichtige Ueberlegungen stehen hinter der Erscheinung, dass die meisten Monopolbetriebe der Praxis ihre Erzeugnisse zu einem Preis auf den Markt bringen, der ihnen erheblich weniger als das Gewinnmaximum einbringt. Mit Blick auf die weitere Entwicklung soll damit vermieden werden, dass die Kunden sich ausgebeutet vorkommen, Konkurrenten durch die fette Monopolrente angelockt werden oder Regierungen sich zu Preiskontrollen, zwangsweisen Kapitalbeteiligungen oder gar Enteignungen veranlasst sehen.

Die wenigen Beispiele aus dem Bereiche der Kapazitäts-, der Informations- und der Risikopolitik, sowie der "Situationspflege" zeigen, dass eine optimale Unternehmungsführung allein auf dem Wege rationaler Einzelentscheidungen nicht zu erreichen ist. Es geht aus ihnen aber auch hervor, dass sich die Praxis bei sequentiellen Problemstellungen mit Planungs- und Entscheidungsmethoden behilft, die kaum als rational bezeichnet werden können. Angesichts des völlig ungenügenden Entwicklungsstandes der Betriebswirtschaftslehre auf diesem Gebiet ist dies auch nicht weiter verwunderlich. Vielmehr erstaunt hingegen, dass die meisten Betriebswirtschafter und viele Entscheidungstheoretiker offenbar noch nicht erkannt haben, was eigentlich auf der Hand liegt: Probleme können grundsätzlich nur dann als nicht-sequentiell behandelt werden, wenn feststeht, dass ein gegenwärtiger Entscheid zukünftige Entscheidungen nicht beeinflusst (39). Beim reichen Anschauungsmaterial an offenkundig sequentiellen Problemen, das die Praxis bietet, kann man die bisherige Vernachlässigung des Sequentialentscheides durch die Theorie nur schwer verstehen. Nach Erklärungen soll indessen hier auch nicht lange gesucht werden. Vielmehr beabsichtigen wir, die bestehenden Ansätze zur Lösung des Entschei-

dungssequenzenproblems im folgenden zu sichten, kritisch zu würdigen, in einen Gesamtrahmen einzuordnen und, soweit nötig und möglich, zu ergänzen und verbessern. Einige nähere Erläuterungen über die von uns verfolgten Ziele und das gewählte Vorgehen enthält der nächste Abschnitt.

1.2 Ziele und Aufbau der weiteren Untersuchungen

Im ersten Teil dieser Arbeit ist dargelegt worden, dass eine Unternehmung mit fallweisen Einzelentscheidungen allein nicht optimal geführt werden kann. Der anschliessende, zweite Hauptteil befasst sich kritisch mit dem, was Betriebswirtschaftslehre, Entscheidungstheorie, Operations Research und weitere Disziplinen zu Ketten-Entscheiden gegenwärtig auszusagen vermögen. Da zu den meisten Ansätzen eine umfangreiche Literatur besteht, kann auf eine eigentliche Darstellung in der Regel verzichtet werden; Quellenangaben werden sie ersetzen. Der Hauptakzent liegt hier auf der Herausarbeitung der besonderen Eigenschaften, Möglichkeiten und Grenzen jedes einzelnen Ansatzes. Weil die verschiedenen Verfahren sich (schon was die verwendeten Begriffe betrifft) zum Teil stark voneinander unterscheiden, ist es wichtig, sie mit möglichst einheitlichen Massstäben zu untersuchen und damit die Ergebnisse untereinander vergleichbar zu machen. Dabei wird sich auch die Theorie des rationalen Einzelentscheides als nützlich erweisen; sie befasst sich ja mit den Komponenten, aus denen jede Entscheidungssequenz zusammengesetzt ist.

Gestützt auf die Erkenntnisse des zweiten Hauptteils soll im dritten Teil der Arbeit versucht werden, unter anderem die folgenden Fragen zu beantworten: Welche Entscheidfälle wären von einer noch inexistenten, allgemeinen Theorie des Sequentialentscheides zweckmässigerweise zu unterscheiden? Welche besonderen Probleme stellt der Sequentialentscheid, verglichen mit dem Einzelentscheid? Zu welchen Entscheidfällen und Sonderproblemen bestehen heute

bereits taugliche Lösungsmethoden? Wie könnten Lücken und Schwächen im gegenwärtigen Verfahrensangebot allenfalls beseitigt werden? Welche Forderungen ergeben sich für Unternehmen, die sich in der Praxis vor sequentielle Entscheidungsprobleme gestellt sehen und diese auf eine systematische Weise anzugehen wünschen?

Bei dieser Uebersicht sind zwei Einschränkungen zu machen, welche für die ganze Arbeit gelten. So bewegen sich einmal etliche der zur Sprache kommenden Methoden auf einem recht hohen mathematischen Niveau und sind erst vor kurzer Zeit entwickelt worden. Es ist daher nicht erstaunlich, dass ihre Eigenschaften auch in Fachkreisen teilweise noch umstritten sind. Wir müssen es in solchen Fällen mit einer Erwähnung der Auffassungsunterschiede bewenden lassen. Die Breite unseres Themas und die betriebswirtschaftliche und entscheidungstheoretische Ausrichtung seiner Behandlung erlauben es nicht, hier Klärungen herbeizuführen.

Die zweite Einschränkung bezieht sich auf die technischen Einzelheiten des Einsatzes der elektronischen Datenverarbeitung. Es muss bereits an dieser Stelle deutlich gesagt werden, dass von den noch zu behandelnden Verfahren viele nur mit Computerhilfe wirklich anwendbar sind. ("Wirklich anwendbar" bedeutet für uns: anwendbar auf echte Entscheidungssequenz-Probleme der Praxis, nicht nur auf konstruierte, triviale Rechenbeispiele.) Die neuere Literatur enthält nun immer häufiger Angaben über die mit bestimmten Entscheidverfahren verbundenen Computerlaufzeiten, den benötigten Platz im Hauptspeicher, etc. Grundsätzlich kann man es nur begrüssen, dass sich die Theorie auch in dieser Hinsicht vermehrt mit den Problemen der praktischen Anwendung ihrer Erkenntnisse auseinanderzusetzen beginnt. Es nützt dem Leser jedoch wenig, wenn er vernimmt, dass es dem Autor eines Artikels gelungen ist, das von ihm geschilderte Problem mit dem Verfahren W auf einem Computermodell X des Herstellers Y unter Verwendung der Programmiersprache A und der Compilerversion A-3.2 in t-Sekunden zu lösen. Er wird nahezu sicher nicht ein

genau gleich strukturiertes Problem zu lösen haben und zudem über eine andere Hard- und Software-Konfiguration verfügen. Allein der letztgenannte Umstand kann aber bereits zu Resultaten führen, die um den Faktor 10 von den angegebenen abweichen (40). Wir würden es deshalb als wesentlich sinnvoller erachten, wenn sich die betreffenden Autoren dazu entschliessen könnten, ihre Programme in einer möglichst allgemein verwendbaren Form zu schreiben und den Interessenten zu Kauf oder Miete anzubieten. Dabei wäre, wie bei Anwendungssoftware üblich, den Interessenten die Möglichkeit unverbindlicher Tests auf der eigenen Anlage einzuräumen. Zu Versuchszwecken sollte überdies ein Problem-Generator-Programm zur Verfügung gestellt werden. So könnte jedermann sich ein verlässliches Bild über Kosten und Leistungen machen, die bei Anwendung des Verfahrens auf Probleme der ihn interessierenden Grösse und Struktur und bei Durchführung des Programms auf seiner eigenen Anlage zu erwarten wären. Leider sind solche Ideen in dem von uns behandelten Themenkreis noch weitgehend als Zukunftsmusik zu bezeichnen (41). Aus den erwähnten Gründen werden wir grösstenteils darauf verzichten, auf computertechnische Hinweise, wie sie heute in der Literatur üblich sind, einzutreten.

Anmerkungen zu Teil 1

1 Zur Entwicklung der Betriebswirtschaftslehre wurden insbesondere benutzt:

Kosiol, E.: Die Unternehmung als wirtschaftliches Aktionszentrum; Reinbek 1966; S. 238 ff.

Löffelholz, J.: Repetitorium der Betriebswirtschaftslehre; 2. Auflage, Wiesbaden 1969; S. 61 ff. und 779 ff.

Müller, W.: Zur neueren Entwicklung der Betriebswirtschaftslehre. Vortrag, gehalten an der Jahresversammlung der Schweizerischen Gesellschaft für Statistik und Volkswirtschaft am 8. Mai 1964 in Bern. Abgedruckt in: Schweizerische Zeitschrift für Volkswirtschaft und Statistik, Heft 3, 1964; S. 442 ff.

2 Autoren wie Lipsey und Steiner scheinen, trotz einigen Einschränkungen, durchaus der Ansicht zu sein, die Mikroökonomie vermöge mit ihren gegenwärtigen Annahmen das Verhalten der Unternehmung für nationalökonomische Zwecke ausreichend genau zu erklären.

Vgl. Lipsey, R.G. und Steiner, P.O.: Economics; 2. Auflage, New York, etc. 1970; S. 202 f. und 363 ff.

3 Vgl. Gellert, W., Küstner, H., Hellwich, M. und Kästner, H. (Hrsg.): Grosses Handbuch der Mathematik; Köln 1967; S. 649.

4 Erwähnt seien hier nur K.J. Arrow, R.M. Cyert, G. Hadley, R. Howard und A. Kaufmann.

5 Vgl. v. Neumann, J. und Morgenstern, O.: Theory of Games and Economic Behavior; Princeton 1944.

Die Grundlagen der Spieltheorie wurden allerdings bereits in den zwanziger Jahren durch Borel und von Neumann geschaffen. Die jeweils frühesten Publikationen der beiden zu diesem Thema dürften sein:

Borel, E.: La théorie du jeu et les équations intégrales à noyau symétrique; in: C.R. Acad. Sci., 1921; S. 1304 ff.

v. Neumann, J.: Zur Theorie der Gesellschaftsspiele; in: Math. Ann., 1928; S. 295 ff.

6 Simon, H.A.: Administrative Behaviour; New York 1947.

Shackle, G. L. S. : Expectations in economics; Cambridge 1949.

Luce, R. D. und Raiffa, H. : Games and Decisions; New York 1957.

7 Das Seminar fand während zweier Monate im Sommer 1952 in Santa Monica, Kalifornien, statt. Die wichtigsten daraus hervorgegangenen Arbeiten sind abgedruckt in:

Thrall, R. M. , Coombs, C. H. und Davis, R. L. (Hrsg.): Decision Processes; New York, London 1954.

8 Sehr deutlich geht dies beispielsweise aus den beiden Uebersichten von Edwards über die Entstehung und Entwicklung der Entscheidungstheorie hervor:

Edwards, W. : The Theory of Decision Making; in: Psychol. Bull. , 1954; S. 380 ff.

Edwards, W. : Behavioral Decision Theory; in: Ann. Rev. Psychol. , 1961; S. 473 ff.

Beide Artikel sind abgedruckt in:

Edwards, W. und Tversky, A. (Hrsg.): Decision Making: Selected Readings; Harmondsworth, Baltimore, Ringwood 1967; S. 13 ff. , resp. 65 ff.

9 Die folgenden Literaturquellen seien erwähnt:

Gäfgen, G. : Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung; Tübingen 1963; S. 30 ff.

Krelle, W. : Präferenz- und Entscheidungstheorie; Tübingen 1968; S. 105.

Kühn, R. : Möglichkeiten rationaler Entscheidung im Absatzsektor unter besonderer Berücksichtigung der Unsicherheit der Information; Bern, Stuttgart 1969; S. 5 ff.

Luce, R. D. , et al. , op. cit. (1957); S. 54 f.

Simon, H. A. : Models of Man; New York, London 1957.

Taylor, D. W. : Decision Making and Problem Solving; S. 48 ff. In: Cyert, R. M. und Welsch, L. A. (Hrsg.): Management Decision Making - Selected Readings; Harmondsworth, Baltimore, Ringwood 1970.

Davis fasst den Stand der Dinge mit einem Schuss Boshaftigkeit, letztlich aber durchaus zutreffend zusammen, wenn er schreibt:

Jeder moderne Entscheidungstheoretiker "konstruiert ein abstraktes System, von dem er im Grund sagt: 'Wenn vom Verhalten einer Person...gesagt werden kann, es erfülle die Voraussetzungen dieses Systems, dann ist ihr Verhalten das, was in meiner Theorie 'rational' genannt wird.'"

(Davis, R. L.: Introduction to 'Decision Processes'; S. 4. In: Thrall, R. M., et al., op. cit. (1954))

10 Im deutschen Sprachbereich sind etwa Albach, Hax, Heinen und Kosiol zu erwähnen.

Anmerkung: Wenn im weiteren Verlaufe dieser Arbeit allgemein von "Entscheidungstheorie" gesprochen wird, so ist darunter stets die präskriptive Richtung zu verstehen.

11 Vgl. hierzu auch die Attacke, welche Stafford Beer gegen die "Stereotypisierung" von Problemen reitet:

Beer, S.: Decision and Control; New York 1966; S. 50 ff.

12 Vgl. auch Kühn, R., op. cit. (1969); S. 6 ff.

13 Ebenso verbreitet wie falsch ist der Ausdruck "Alternative", der im Deutschen eine Entscheidungssituation mit zwei Möglichkeiten bezeichnet: Ein Unternehmer mag etwa vor der Alternative stehen, seinen Preis freiwillig zu senken oder sich eine staatliche Ueberprüfung seiner Kalkulation gefallen zu lassen. Viele Entscheidungstheoretiker würden die beiden Verhaltensmöglichkeiten des Unternehmers als "zwei Alternativen" (statt "zwei Varianten") bezeichnen; der Missbrauch dürfte kaum mehr auszurotten sein.

14 Das Beispiel der Fassadenrenovation mag zur Verdeutlichung dienen: Es wäre denkbar, dass (bei einem vorwiegend lokalen Abnehmerkreis) das trostlose Bild der Fassade in ihrem jetzigen Zustand negative Assoziationen hinsichtlich der Qualität der dahinter produzierten Güter weckt und dadurch den Absatz beeinträchtigt.

15 "Herstellbar" ist allerdings nicht im Sinne der mathematischen Kombinatorik zu verstehen, sondern es sind damit Massnahmenbündel gemeint, die der Aktor tatsächlich zu verwirklichen imstande wäre.

16 Eine aus den Entscheidungsvariablen "Preis", "Inseratenwerbung",

sowie "Bautätigkeit" zusammengesetzte Variante wäre somit allgemein mit dem Vektor (e_{1i}, e_{2k}, e_{4m}) zu kennzeichnen.

Werden konkret die Massnahmen "Preissenkung um 10 %", "zusätzliche Inseratenwerbung im Betrage von Fr. 300.000,-" und "Fassadenrenovation" zu einer Variante kombiniert und stellen diese Massnahmen je den ersten realisierbaren Wert der betreffenden Entscheidvariablen dar, so müsste der Varianten-Vektor symbolisch mit (e_{11}, e_{21}, e_{41}) ausgedrückt werden.

Die Vektor-Schreibweise kann auch benützt werden, wenn Entscheidungsvariablen und realisierbare Werte nicht in Symbolen ausgedrückt werden. Es sind dann einfach die konkreten Einzelmassnahmen aufzuführen: (Preissenkung um 10 %, zusätzliche Inserate für Fr. 300.000,-, Fassadenrenovation).

17 Siehe auch: Beer, S., op.cit. (1966); S. 97 f.

18 Zur begrenzten Rationalität vgl.:

Krelle, W., op.cit. (1968); S. 105.

Simon, H.A., op.cit. (1957).

Taylor, D.W., op.cit. (1970).

19 Simon selbst soll den Grundgedanken seiner "begrenzten Rationalität" und zugleich deren Hauptunterschied gegenüber den "konpromisslosen" Rationalitätsauffassungen einmal folgendermassen veranschaulicht haben: Es sei doch unsinnig, nach der besten Nadel in einem Heuhaufen zu suchen; man solle sich zufrieden geben, wenn man eine brauchbare gefunden habe.

(Nach Churchman, C.W.; in seiner Kritik von Braybrooke, D. und Lindblom, C.E.: A Strategy of Decision: Policy Evaluation as a Social Process; New York 1963; in: Operations Research, 1965; S. 160.)

20 Dazu auch Kühn, R., op.cit. (1969); S. 7 f.

21 Es handelt sich also um alternative Möglichkeiten, nicht um gleichzeitig, beziehungsweise kumulativ eintretende Einzelergebnisse. Kumulative Werte sind, wie erinnerlich, in den allgemeinen Vektor-Ausdrücken k_n für die verschiedenen Konsequenzen bereits eingeschlossen.

22 Als Kurzübersichten vgl. etwa:

Hax, H.: Entscheidungsmodelle in der Unternehmung - Einführung in Operations Research; Reinbek 1974; S. 192 ff.

Klaus, G. (Hrsg.): Wörterbuch der Kybernetik; Frankfurt/Main, Hamburg 1969; S. 587 ff.

Als umfassendere Werke seien erwähnt:

Luce, R.D., et al., op.cit. (1957).

McDonald, J.: Strategy in Poker, Business and War; New York 1950.

Morgenstern, O.: Spieltheorie und Wirtschaftswissenschaft; Wien, München 1963.

v.Neumann, J., et al., op.cit. (1944).

Shubik, M. (Hrsg.): Spieltheorie und Sozialwissenschaften; Frankfurt/Main 1965.

23 "Unmittelbar" bedeutet hier "mit der betrachteten Variante selbst".

24 Vgl. dazu etwa:

Hax, H., op.cit. (1974); S. 41 ff.

Miller, D.W. und Starr, M.K.: Executive Decisions and Operations Research; Englewood Cliffs 1969; S. 342.

Raiffa, H.: Decision Analysis - Introductory Lectures on Choices under Uncertainty; Reading, etc. 1968; S. 155 f.

Yamane, T.: Statistics - An Introductory Analysis; New York, etc. 1967; S. 86 ff.

25 Kosiol, E., op.cit. (1966); S. 208.

26 v.Neumann, J., et al., op.cit. (1944).

Eine neuere Formulierung der Axiome findet sich beispielsweise bei North:

North, D.W.: A Tutorial Introduction to Decision Theory; in: IEEE Transactions, September 1968; S. 201 ff.

27 Gäfgen, G., op.cit. (1963); S. 292

28 Vgl. auch Woitschach, M.: Zukunft und Wahrscheinlichkeit; in: Industrielle Organisation, Juli 1971; S. 305 ff.

29 Schneeweiss, H.: Die angebliche Ausschaltung des Risikos durch das Gesetz der grossen Zahlen; in: Unternehmensforschung 1968; S. 96 ff.

30 Zur Methodik vgl. vor allem:

Spetzler, C.: The Development of a Corporate Risk Policy for Capital Investment Decisions; in: IEEE Transactions, September 1968; S. 279 ff.

Spetzler, C.: Establishing a Corporate Risk Policy; in: 1968 Proceedings of AIIE; S. 103 ff.

Die beiden Artikel sind von besonderem Interesse, weil sie neben einer sehr gründlichen Darstellung der technischen Durchführung von Nutzen-Experimenten auch deren praktische Verwendung zur Entwicklung einer firmeneigenen Risikopolitik zeigen.

31 Siehe z.B. Hax, H., op.cit. (1974); S. 63 ff.

32 Am bekanntesten geworden sind das Minimax-Kriterium von Wald, die Savage-Niehans-Regel, das Optimismus-Pessimismus-Kriterium von Hurwicz und die Laplace-Regel. Vgl. namentlich:

Hax, H., op.cit. (1974); S. 54 ff.

Menges, G.: Grundmodelle wirtschaftlicher Entscheidungen; Köln, Opladen 1969.

33 Siehe auch Teichmann, H.: Der Stand der Entscheidungstheorie; in: Die Unternehmung, Nr. 2, 1971; S. 134 f.

34 Praktisch dürften dabei allerdings Mischungen von Quasi-Sicherheit, stochastischer Unsicherheit und rationaler Indeterminiertheit selten sein: Objektivisten werden sich gegenüber der Natur meist in einer rein indeterminierten, Subjektivisten in einer stochastisch unsicheren Lage befinden. Wesentlich häufiger sind demgegenüber Mischungen einer dieser drei Unsicherheitsformen mit spieltheoretischer Unsicherheit zu erwarten.

Da Entscheidungen stets die Zukunft beeinflussen sollen, ist der Fall der Sicherheit zwar grundsätzlich nur ein gedankliches Modell, mit

dessen Hilfe sich gewisse Erkenntnisse leichter erarbeiten lassen. Es gibt jedoch auch im betriebswirtschaftlichen Bereich (z. B. in der Produktion) Varianten, bei denen die Unsicherheit hinsichtlich der Konsequenzen so gering ist, dass sie vernachlässigt werden kann. Deshalb ist in der Praxis durchaus mit Entscheidungsproblemen zu rechnen, welche neben strategischer Unsicherheit und/oder einer Form von Unsicherheit gegenüber der Natur auch sichere Elemente enthalten.

35 Eine Ausnahme bildet Kühn. Er erkennt das Problem, wenn er sich auch mit strategischen Spielen nicht befasst. Bei Mischungen von stochastischer Unsicherheit und rationaler Indeterminiertheit vermutet er (wohl zu Recht), dass die letztere die Entscheidmethode bestimmen müsste, welche auf das ganze Problem anzuwenden wäre.

Vgl. Kühn, R., op. cit. (1969); S. 30 f. und S. 276.

36 Siehe unter anderem:

Beer, S., op. cit. (1966); S. 219 ff.

Kühn, R., op. cit. (1969).

Teichmann, H., op. cit. (1971).

37 Vgl. etwa: Korp, D.: Werte unterm Blech - Peugeot 504: Das introvertierte Auto; in: Die Zeit, 22.11.1968; S. 57.

38 Siehe Herrmann, R.: Wie verpönt ist die Schminke noch? In: Die Zeit, 17.2.1967; S. 48.

39 Mit der Formulierung lehnen wir uns an Hadley an.

Hadley, G.: Nichtlineare und dynamische Programmierung; Würzburg, Wien 1969; S. 221.

40 Leistungs-Verhältniszahlen sind in der Regel bestenfalls für die verschiedenen Anlagemodelle und Software-Produkte desselben Herstellers erhältlich. Auch sie sind in diesem Zusammenhange von beschränktem Nutzen, da die tatsächlichen Ergebnisse bei Durchführung eines bestimmten Programmes von wesentlich mehr Einflüssen abhängen, als in solchen Verhältniszahlen berücksichtigt werden können. Hierzu kommt natürlich noch der Umstand, dass auch bei einem gleichartigen zu lösenden Problem zumeist nicht von einem identischen Pro-

gramm ausgegangen werden kann. In der Literatur werden die zu einem Entscheidverfahren entwickelten Programme nur selten mit abgedruckt. Das "selbstgestrickte" Programm eines Lesers wird in allen anderen Fällen zwangsläufig grössere oder kleinere Unterschiede zu demjenigen des Autors aufweisen, womit auch die unterschiedliche Programmiertechnik einen - unter Umständen sehr erheblichen - Einfluss ausübt.

41 Eine bemerkenswerte Ausnahme bildet das Gebiet der Netzplantechnik, in dem schon fast von einem Ueberfluss kommerziell angebotener Programmpakete gesprochen werden kann.

Einige Programme sind auch für anspruchsvollere Netzwerk-Probleme verfügbar. Als beinahe schon philanthropisch ist es zu bezeichnen, dass Klingman, Napier und Stutz zu deren Vergleich jedermann kostenlos ihren Problemgenerator zugänglich machen.

Vgl.: Klingman, D., Napier, A. und Stutz, J.: NETGEN: A Program for Generating Large Scale Capacitated Assignment, Transportation, and Minimum Cost Flow Network Problems; in: Management Science, Januar 1974; S. 814 ff.

2 Bestehende Ansätze zur Lösung sequentieller Entscheidungsprobleme

2.1 Vorbemerkungen

Die folgende Sichtung und kritische Würdigung bestehender Problembeiträge ist in drei Hauptabschnitte gegliedert. Davon ist der erste den Lösungsversuchen der traditionellen Betriebswirtschaftslehre, der zweite den Ansätzen zu einer allgemeinen Theorie des Sequentialentscheides und der dritte den Verfahren zur Behandlung speziell strukturierter Probleme gewidmet. Einige Erläuterungen und Begründungen dazu sind angebracht.

Als traditionell bezeichnen wir hier jene Teile der Betriebswirtschaftslehre, die entweder rezeptartige Handlungsanweisungen enthalten oder aber das beste unternehmerische Verhalten mit Hilfe der Differentialrechnung zu bestimmen versuchen. Die nach dieser Definition nicht-traditionellen betriebswirtschaftlichen Ansätze gelangen nur indirekt zur Sprache und zwar durch ein speziell dem verwendeten Verfahren gewidmetes Kapitel im zweiten oder dritten Hauptabschnitt. Das bringt die Gefahr mit sich, dass durch den ersten Hauptabschnitt der Eindruck erweckt wird, die Betriebswirtschaftslehre sei vom wissenschaftlichen Fortschritt weitgehend unberührt geblieben. Dabei sind beispielsweise in den letzten Jahren zahlreiche Anwendungen der dynamischen Programmierung in Produktion, Absatz, usw. festzustellen. Der Eindruck wäre somit durchaus unrichtig. Ihn mit Sicherheit zu vermeiden hätte indessen erfordert, mehrfach über Anwendungen desselben Verfahrens in verschiedenen Teilen der Betriebswirtschaftslehre zu berichten. Da es uns aber um die Möglichkeiten und Grenzen der verschiedenen Verfahren als solche und nicht um eine Erhebung über ihre Verbreitung in der Betriebswirtschaftslehre ging, wurde darauf verzichtet.

Wir haben bereits erwähnt, dass allgemeine und umfassende Methoden der Entscheidfindung bei sequentiellen Problemen noch fehlen. Wir können deshalb in

unserer Uebersicht auch auf sehr lückenhafte Ansätze nicht verzichten, die sich oftmals nur mit einem einzelnen Aspekt der gesamten Problematik befassen. Es müssen uns, leicht überspitzt ausgedrückt, alle bisherigen Erkenntnisse interessieren, die den Zusammenhang zwischen gegenwärtigen und zukünftigen Entscheidungen betreffen. Indem wir die vielen weitherum verstreuten, kleineren und grösseren Erkenntnisbausteine zusammentragen, soll das unvollständige Mosaik des gegenwärtigen Gesamtwissens über Sequentialentscheidungen erkennbar werden. Da, um bei unserem Bild zu bleiben, die Zugehörigkeit einzelner Steinchen zum Mosaik nicht unbedingt augenfällig ist, müssen wir bei ihrer Behandlung in Ausnahmefällen etwas weiter ausholen. Am häufigsten ist dies bei Ansätzen aus dem Bereich der traditionellen Betriebswirtschaftslehre erforderlich, weil dabei Entscheidtyp und -verfahren vielfach verdeckt sind. Alle Ansätze, deren Beziehung zum Sequentialentscheid leicht ersichtlich ist, werden dagegen im wesentlichen nur angeführt und einer kritischen Würdigung unterzogen; ihre Darstellung wird, wie schon in Kapitel 1.2 erwähnt, der einschlägigen Literatur überlassen. Das Schrifttum wird von uns im übrigen nach dem Grundsatz behandelt, dass in erster Linie die verschiedenen Ansätze und Meinungen und nicht die Veröffentlichungen als solche interessieren. Derselbe Mosaikstein wird demnach, auch wenn er in x-facher Ausführung vorliegt, nur einmal verwendet. Konkret bedeutet dies, dass wir für die Darstellung eines Ansatzes lediglich auf diejenigen Werke verweisen, die wir am geeignetsten dafür halten, und dass zwar nach Möglichkeit alle unterschiedlichen Meinungen zur Sprache kommen sollen, zu diesen aber ebenfalls nur repräsentative Quellen angegeben werden. Die Zusammenstellung allumfassender Bibliographien ist Aufgabe von Spezialarbeiten der verschiedenen wissenschaftlichen Teilbereiche.

2.2 Das Entscheidsequenzen-Problem in der traditionellen Betriebswirtschaftslehre

22.1 Allgemeine Unternehmensführung und Planung

Die praktischen Beispiele in Abschnitt 11.4 dürften gezeigt haben, dass sequentielle Entscheidprobleme in wohl allen Bereichen der Unternehmungsführung anzutreffen sind. Es liegt daher nahe, Ansätze zur Behandlung dieser Problemgattung zunächst und vor allem in den allgemeinsten Teilen der betriebswirtschaftlichen Theorie zu vermuten. Dazu zählen etwa die allgemeinen Planungslehren, Anweisungen zum Verhalten gegenüber geschäftlichen Risiken, Thesen über die Phasen der Entwicklung einer Unternehmung. Durch zahlreiche Begriffe, Konzepte und Meinungsstreite in den genannten Gebieten schimmert denn auch das Problem der "zeitlich-vertikalen Interdependenzen" (1) hindurch. Indessen wird es kaum je klar erkannt, geschweige denn systematisch angepackt oder gar gelöst. Einige Beispiele mögen zeigen, was gemeint ist.

Viele Gesichtspunkte werden etwa genannt, welche bei der Festlegung des zeitlichen H o r i z o n t e s der Planung berücksichtigt werden sollten. Sie reichen von den Problemen der Informationsbeschaffung und der Zuverlässigkeit der Daten über die Kosten der Berücksichtigung längerer oder kürzerer Zeiträume bis hin zu Alter und Temperament des Aktors (2). Selten jedoch wird dabei auch die Frage nach der weiteren Entwicklung jenseits der zu ziehenden Zeitgrenze, nach der gegenseitigen Abhängigkeit von Jetzt und Später, gestellt. Noch schwerer verständlich ist es, dass entsprechende Zusammenhänge bei der Bestimmung der P l a n p e r i o d e n ebenfalls vernachlässigt werden. Wenn hier beispielsweise von einer Anpassung an den Absatz-, den Produktions- oder den Beschaffungsrhythmus die Rede ist (3), so ist zwar offenkundig, dass die Perioden im zeitlichen Verlauf aufeinander folgen. Die Planungslehre kennt denn auch neben der einperiodigen die mehrperiodige Planung. Auf diese wird noch zurückzukommen sein. Die Periodenlänge wird jedoch trotz Einsicht

in die Mehrperiodigkeit vor und unabhängig von der eigentlichen Planung festgelegt. Es wird dabei nicht untersucht, welchen Einfluss die Periodenwahl auf das Gesamtergebnis der Planung über einen bestimmten Zeitraum ausübt (4).

In der neueren betriebswirtschaftlichen Literatur wird öfters der Zusammenhang zwischen gegenwärtigen Entscheiden und zukünftiger Entwicklung zwar grundsätzlich gesehen, wobei aber die daraus abgeleiteten Verhaltensempfehlungen nicht zu befriedigen vermögen. Das gilt bereits für das bekannte "Ausgleichsgesetz der Planung" von Gutenberg, welches besagt, dass die kurzfristige Planung auf die bestehenden Engpässe, die langfristige auf deren Beseitigung auszurichten sei (5). Hier wird zwar auf die Beeinflussung des zukünftigen Entscheidungsspielraumes durch vorangehende (Investitions-)Entscheidungen hingewiesen; eine Methodik zur Abstimmung der aufeinanderfolgenden Entscheide, gar unter Berücksichtigung der Unsicherheit, ist damit jedoch nicht verbunden.

Die Unsicherheit der weiteren Entwicklung und deren Einfluss auf die in der Gegenwart zu treffenden Entscheide stand dagegen im Mittelpunkt eines langen Meinungsstreites um Begriff und Bedeutung der "F l e x i b i l i t ä t" in der Planung (6). Unter diesem Generalthema wurden sehr verschiedene Fragen erörtert, ohne dass dies den Beteiligten immer ganz klar gewesen zu sein scheint. So wurden insbesondere die Flexibilität (oder Elastizität) einer einzelnen Variante gegenüber verschiedenen möglichen Umweltzuständen und ihre Flexibilität hinsichtlich der offenstehenden weiterführenden Varianten miteinander vermengt. Die erste Form von Flexibilität ist im betriebswirtschaftlichen Schrifttum, teilweise auch unter Bezeichnungen wie "Risikomischung" oder "Risikopolitik", längst bekannt: Varianten werden dabei gezielt aus verschiedenen Massnahmen zusammengesetzt, damit ein befriedigendes Ergebnis in allen voraussehbaren Situationen gesichert werden kann. Bekanntestes Beispiel dafür ist vielleicht die Zusammensetzung eines Wertschriften-Portefeuilles sowohl aus zyklischen als auch aus antizyklischen

Titeln, wie sie von Markowitz angestrebt wird (7). Diese Art von Flexibilität ist nicht speziell auf sequentielle Entscheidungsprobleme ausgerichtet und soll deshalb hier auch nicht weiter behandelt werden.

Der zweite Flexibilitäts- oder Elastizitätstyp wird in der Theorie offenbar erstmals von A.G. Hart erwähnt (8). Er bezieht sich auf die Aktionsfähigkeit, welche eine Variante nach ihrer Durchführung der Unternehmung belässt. Zumeist wird diese einfach an der Zahl der offenstehenden Möglichkeiten gemessen. Es ist jedoch nicht einzusehen, dass eine in diesem Sinne flexiblere Variante längerfristig zwangsläufig zu einem besseren Gesamtergebnis führen muss als eine andere, die in der Fortsetzung vielleicht weit weniger, dafür umso wirkungsvollere Möglichkeiten offenlässt. Zudem wird anscheinend (kein Autor drückt sich hier eindeutig aus) stets nur an die Verhaltensmöglichkeiten gedacht, die unmittelbar an die betrachtete Variante anschliessen. Implizit und grundlos wird damit lediglich eine zweistufige Entscheidungssequenz in Betracht gezogen. Ist jedoch mit drei, vier oder noch weit mehr Stufen zu rechnen, so kann die Zahl der auf der zweiten Stufe offenen Varianten als zusätzliches Entscheidkriterium für das auf der ersten Stufe zu wählende Verhalten nochmals in die Irre führen: es ist ohne weiteres denkbar, dass die Variante, welche für die zweite Entscheidstufe die meisten Möglichkeiten eröffnet, über n-Stufen gesehen sogar am wenigsten verschiedene Verhaltenssequenzen bietet.

W. Wittmann erwähnt zahlreiche Beispiele von Varianten, welche einen hohen Grad von Flexibilität im zweitgenannten Sinne aufweisen, wie: Mehrzweckmaschinen oder -bauten, die Herstellung von Standardartikeln oder die Lagerung von Produkten in unfertigem Zustande (in den beiden letzten Fällen kann noch auf zahlreiche Kundenwünsche eingegangen werden), usw. (9). Wir haben bereits darauf hingewiesen, dass sich die Praxis derartige Massnahmen als Schutz vor unsicheren weiteren Entwicklungen tatsächlich zunutze macht.

Einzelne Autoren, wie Mellwig und Jacob, erachten neben der Zahl der Reak-

tionsmöglichkeiten auch die Geschwindigkeit, mit der Anpassungen vollzogen werden können, als wichtig für die Flexibilität einer Variante (10).

Die zahlreichen Hinweise auf die Flexibilität des zweiten Typs, die das traditionelle betriebswirtschaftliche Schrifttum aufweist, scheinen uns bezeichnend für den Gesichtswinkel, unter dem das Sequentialproblem hier offensichtlich gesehen wird: Nicht als Normalfall längerfristiger Planung, sondern als ausnahmsweise notwendig werdende Modifikation einer sonst rein einphasigen Betrachtungsweise. Es wird im Grunde angenommen, die gewählte Variante stelle für die ganze betrachtete Zeitdauer das Optimum dar. Für den Fall, dass sich die Umweltsituation doch einmal ändern sollte, ist immerhin die der Unternehmung verbleibende Anpassungsfähigkeit in einem gewissen Umfange mitzuberücksichtigen. Sehr deutlich zeigt sich eine ähnliche Auffassung in Kochs "T h e o r i e d e r S e k u n d ä r a n p a s s u n g", die ebenfalls einen zentralen Platz in der erwähnten Flexibilitäts-Diskussion einnahm (11). Koch rät dem Entscheidenden, seine Varianten speziell auf die wahrscheinlichste Situation (die sogenannte "Primärsituation") auszurichten. Er räumt jedoch ein, dass auch "Sekundärsituationen" eintreten könnten. Die Wahl der optimalen Variante habe deshalb in zwei Phasen zu erfolgen: In einer ersten hat der Aktor ein Mindesteinkommen zu definieren, das er auch in jeder möglichen Sekundärsituation zu erreichen wünscht. Jede Variante, welche dies nicht zu garantieren vermag, fällt ausser Betracht. Unter den verbleibenden Varianten ist sodann in der zweiten Entscheidungphase diejenige zu bestimmen, welche das höchste Einkommen in der Primärsituation verspricht. Die Sicherung des Minimaleinkommens in den Sekundärsituationen kann nach Koch auf zwei Arten geschehen: durch Einbau von Flexibilität des ersten oder des zweiten Typs in die einzelnen Varianten. Koch sieht ein Substitutionsverhältnis zwischen den beiden Flexibilitätstypen: Je mehr Risikomischung mit den verschiedenen Massnahmen einer Variante verbunden ist, desto weniger Anpassungsfähigkeit wird benötigt, und umgekehrt (12).

Im Vergleich zum simplen Rat, im Angesicht der Unsicherheit flexibel zu bleiben, führt die "Theorie der Sekundäranpassung" einen Schritt weiter; sie enthält auch eine Richtlinie dafür, was damit genau angestrebt werden soll. Andererseits stempelt Kochs Theorie eine Entscheidungssequenz ebenfalls zu einem reinen "Betriebsunfall": Nur falls sich anstatt der Primäreine Sekundärsituation einstellen sollte und zudem nicht ausreichend Flexibilität des ersten Typs zur Sicherung des Mindesteinkommens vorhanden sein sollte, wird die bereits verwirklichte Variante nachträglich noch "sekundär angepasst", das heisst: korrigiert, ergänzt oder ersetzt. Da Koch ausserdem offenbar nicht mit der Möglichkeit rechnet, dass die zunächst eingetretene Primär- oder Sekundärsituation im Laufe der Zeit von einem anderen Umweltszustand abgelöst werden könnte, bleibt es bei einer maximal zweistufigen Entscheidungssequenz. Weil der zweite Entscheid lediglich die Aufgabe hat, das Minimaleinkommen zu garantieren, wird eine so zustandegekommene Entscheidungssequenz höchstens zufällig das optimale Verhalten über zwei Stufen darstellen. Die Theorie der Sekundäranpassung bewegt sich daher in der Nähe von Herbert Simons begrenzter Rationalität; dies scheint Koch und seinen Anhängern allerdings nicht bewusst zu sein. Grundsätzlich könnte der Ansatz in diesem Sinne ohne weiteres für die Anwendung auf n-stufige Entscheidungssequenzen ausgebaut werden; er weist jedoch Schwächen auf (13), die es geraten erscheinen lassen, für die Entwicklung begrenzt rationaler Sequentialentscheidverfahren besser bei der "klassischen" Entscheidungstheorie anzusetzen, wie sie von uns in Abschnitt 11.3 dargestellt wurde.

Situationsveränderungen im Zeitablauf sind, wir haben es angedeutet, als durchaus normale Erscheinung anzusehen. Sie sind zudem häufig voraussehbar im Sinne der stochastischen Unsicherheit. In solchen Fällen sehen wir keinen Grund, sich von vornherein auf die Bewahrung von Flexibilität zu beschränken oder mit der Sicherung eines Minimaleinkommens zu begnügen. Vielmehr sollte in erster Linie versucht werden, eine entsprechende, optimale Entscheidungssequenz von Anfang an zu planen. Es ist zudem darauf

hinzuweisen, dass sich eine Sequenz nicht nur wegen Veränderungen der Umwelt gleichsam aufdrängen kann. Auch bei gleichbleibender Situation lässt sich mit einer Variantenkette oft ein besseres Resultat erzielen als mit einer dauernd in Kraft belassenen Einzelvariante. Die ersten anfallenden Konsequenzen können es einer Unternehmung ja ermöglichen, in der Folge bessere Massnahmen einzusetzen als ihr zu Beginn offenstanden. In der bereits mehrfach erwähnten Flexibilitätsdiskussion befassen sich vor allem Hax und Laux mit der Optimierung von Entscheidungssequenzen bei stochastischer Unsicherheit oder Quasi-Sicherheit. Sie verwenden hierfür den von ihnen selbst geprägten Ausdruck "f l e x i b l e P l a n u n g". Darunter ist jedoch kein eigener Ansatz zu verstehen; mit dem Begriff werden lediglich entsprechende Verfahren aus Entscheidungstheorie und mathematischer Programmierung zusammengefasst, wie sie in der weiteren Literatur vorschlagen wurden. Mit diesen werden wir uns in den betreffenden speziellen Kapiteln befassen.

Den Vorschlag, sich (wie es Koch fordert) in sequentiellen Problemlagen ein Mindesteinkommen zu sichern, finden wir zunächst vor allem bei rationaler Indeterminiertheit erwägenswert. Die Variante zu wählen, welche das höchste Mass an Flexibilität des zweiten Typs gewährt, könnte allenfalls in noch unsichereren Lagen einen gewissen Sinn haben. Wir denken hier an Fälle, in denen nicht alle Konsequenzen voraussehbar sind (die klassische Entscheidungstheorie befasst sich nicht mit ihnen). Es muss aber daran erinnert werden, dass fraglich ist, ob eine elastischere Variante bessere Ergebnisse verspricht. Gemäss unseren Vorbehalten gegenüber dem Flexibilitätskonzept erscheinen uns auch die theoretischen Bemühungen zur Entwicklung von Massgrössen der Flexibilität (14) von beschränktem Nutzen.

Neben den bisher berührten Punkten finden sich in der Planungsliteratur weitere Ansätze, die in teils engerer, teils lockerer Beziehung zur Problematik sequentieller Entscheidungen stehen. Als eigentliche Handlungs-, beziehungsweise Verhaltensketten können m e h r s t u f i g e oder m e h r p e r i o-

d i g e Pläne gelten, die häufig erwähnt werden (15). Leider vermögen die Verfahren, welche zu ihrer Aufstellung vorgeschlagen werden, in der Regel nicht zu befriedigen. Sehr oft handelt es sich dabei um eine "Rückwärtsplanung" (man könnte auch von "Projektplanung" im weitesten Sinne sprechen): Als erstes wird ein Ziel gesteckt, welches am Ende der Sequenz, respektive bis zum Planungshorizont erreicht sein soll. Ausgehend von diesem Ziel wird dann - gleichsam rückwärtsschreitend - eine Vorbedingung nach der anderen bis hin zur allerersten Massnahme entwickelt, die der Aktor verwirklichen muss, um ans Ziel zu gelangen. Diese Vorgehensweise ist unseres Erachtens vor allem aus den folgenden Gründen nur sehr begrenzt anwendbar: Ob das gesteckte Ziel überhaupt erreicht werden kann, zeigt sich erst, wenn die Kette der nötigen Massnahmen vollständig abgewickelt und mit den Möglichkeiten verglichen worden ist, die dem Aktor tatsächlich offenstehen. Die Antwort kann ferner nur "ja" oder "nein" lauten; welche anderen (höheren oder niedrigeren) Ziele für den Aktor allenfalls auch erreichbar wären, zeigt sich dabei nicht. Dies ist nur dann kein Mangel, wenn der Aktor ausschliesslich am ursprünglich gesteckten Ziel interessiert ist. Wesentlich häufiger dürfte er jedoch einfach danach trachten, das Beste aus seinen Möglichkeiten zu machen. Die Vorgabe eines ganz bestimmten (Projekt-) Zieles bedingt im weitern, dass sich die zu seiner Erreichung erforderlichen Massnahmen tatsächlich vollständig (sozusagen von Z bis A) bestimmen lassen. Diese Voraussetzung ist am ehesten bei maschineller Produktion, Bautätigkeit, etc., erfüllt, in Gebieten also, die über eine gut ausgebaute Technologie verfügen. Planungen, die sich ausschliesslich in solchen Bereichen bewegen, sind aber für die Unternehmungsführung von eher zweitrangiger Bedeutung. Die wichtigste Beschränkung der "Rückwärtsplanung" dürfte schliesslich wohl darin zu sehen sein, dass exakt vorgeschriebene Zielpunkte praktisch nicht mehr mit Gewissheit zu erreichen sind, sobald die Konsequenzen einzelner Massnahmen unsicher sind. Dass aber Unsicherheit den Normalfall, Sicherheit die Ausnahme darstellt, haben wir bereits früher erwähnt. Besonders gut ausgebaute Verfahren der Rückwärtspla-

nung enthält bekanntlich die Netzplantechnik; wir werden auf diese in einem späteren Kapitel noch speziell zurückkommen.

Die betriebswirtschaftliche Literatur zur mehrperiodigen Planung kennt neben der Rückwärtsplanung wenige andere Planungstechniken. Ab und zu (besonders im Produktionsbereich) besteht die Planungsmethodik in nichts anderem als in der heuristischen Einpassung von vorgegebenen Plankomponenten (zum Beispiel Fertigungsaufträgen) in die Zeit-, Kapazitäts- und anderen Grenzen. Der Nutzen vieler Veröffentlichungen beschränkt sich dann darauf, dass sie eine Uebersicht über Plantafeln und ähnliche Hilfsmittel bieten, die in der Praxis gebräuchlich sind. Der öfters anzutreffende, allgemeine Hinweis, die verschiedenen Planperioden seien aufeinander abzustimmen, hilft auch nicht eben weiter. Schliesslich fällt auch an diesen Publikationen auf, dass nahezu immer sichere Verhältnisse unterstellt werden.

Eine Verhaltenskette wird auch dann umrissen, wenn im gleichen Bereich Pläne mit einem unterschiedlichen Zeithorizont nebeneinander bestehen. Wird beispielsweise vorgeschlagen, eine kurz-, eine mittel- und eine langfristige Planung in unterschiedlicher Detaillierung zu unterhalten, so trägt man damit dem Umstand Rechnung, dass Prognosen umso ungenauer zu werden pflegen, je weiter sie in die Zukunft reichen. Martin Starr vergleicht diese Erscheinung mit dem Strahl einer Taschenlampe, der mit zunehmender Distanz schwächer wird und deshalb weniger Einzelheiten erkennen lässt (16). Entsprechend wird in der längerfristigen Planung die Entwicklung nur relativ grob vorgezeichnet, während auf kürzere Sicht das Vorgehen konkreter geplant wird. Es liegt somit hier nicht allein eine zeitliche Sequenz vor (die längerfristigen Pläne enthalten die Fortsetzung der kurzfristig vorgesehenen Massnahmen), sondern zugleich auch ein begrifflich hierarchisches Verhältnis: Langfristig wird gleichsam nur die Gattung festgelegt, mit Plänen hinsichtlich der Art dagegen wagt sich der Aktor nicht so weit in die Zukunft hinaus. Ein Beispiel für eine solche hierarchisch-sequentielle Planstruktur: Ein Unternehmen, das bis-

her ausschliesslich Strassenschuhe herstellt, beschliesst im Rahmen eines Fünfjahresplanes, sein Sortiment mit Sportschuhen zu erweitern. Der gleichzeitig aufgestellte Einjahresplan sieht vor, dass zunächst eine Linie von Leichtathletikschuhen entwickelt wird. Ob die Firma später auch Skischuhe produzieren wird, wird erst entschieden, wenn die weiteren Entwicklungen im Wintersport klarer erkennbar sind.

Die Geltungsdauer von längerfristigen Plänen kann diejenige von kürzerfristigen teilweise, vollkommen oder auch überhaupt nicht überlappen (17). In diesem Zusammenhang interessieren allein die beiden Extremfälle. Schliesst im obigen Beispiel der Fünfjahresplan die Periode des Einjahresplanes ein, so bedeutet dies, dass entsprechende Gattungs- und Art-Entscheide miteinander übereinstimmen müssen, was hier der Fall ist: Leichtathletikschuhe sind zweifelsohne der Gattung Sportschuhe zuzurechnen. Ueberlappen sich die Planperioden nicht, setzt mit anderen Worten der Fünfjahresplan erst dort ein, wo der Einjahresplan aufhört, so ist eine solche Uebereinstimmung nicht zwingend. Es wäre dann denkbar, dass erst der Fünfjahresplan eine Diversifikation in den Sportschuh-Bereich vorschreibt, in der Einjahresplanung daneben aber beschlossen wird, sich an der Entwicklung eines neuen Militärschuhs zu beteiligen. Das besagt wohlgemerkt nicht, dass Sport- und Militärschuhentscheid nicht aufeinander a b gestimmt zu sein brauchen. Dies wäre nur dann der Fall, wenn keine wesentlichen Zusammenhänge zwischen den beiden Entscheiden bestehen würden.

Sowohl im Falle der Ueberlappung als auch in jenem der Nicht-Ueberlappung verschieden-fristiger Pläne stellt sich die Frage der Planungsreihenfolge: Ist zuerst der längerfristige Grobrahmen abzustecken und danach der kürzerfristige Feinplan aufzustellen oder sollte umgekehrt vorgegangen werden? Jürgen Wild weist auf das damit verbundene Dilemma hin: Trifft man, wie bei der Rückwärtsplanung, zuerst die später durchzuführenden Entscheide, so besteht keine Gewähr, danach auch harmonisch dazu überleitende, früher zu ver-

wirklichende Varianten zu finden. Im andern Falle kann man sich mit einem isoliert entwickelten kurzfristigen Plan den Weg zum besten langfristigen Plan verbauen. Wild vermeint die Lösung gefunden zu haben. Er verlangt, die längerfristigen Pläne müssten die kürzerfristigen vollständig überlappen und zuerst aufgestellt werden. Die kürzerfristigen wären dann, dem herrschenden hierarchischen Verhältnis entsprechend, aus den längerfristigen abzuleiten (18). Diese Ansicht Wilds erstaunt einigermassen, weist er doch an anderer Stelle selbst auf das Hauptproblem hin, das sich ergibt, wenn man zuerst einen Grob- und danach einen entsprechenden Feinentscheid trifft: Es ist nie auszuschliessen, dass sich der beste Feinentscheid im Rahmen einer der bereits ausgeschiedenen Grobvarianten befunden hätte (19). Um an das frühere Beispiel anzuknüpfen: Der Sportschuhsektor mag im Durchschnitt zwar tatsächlich bessere Diversifikationsmöglichkeiten enthalten als beispielsweise der Arbeitsschuhsektor; dennoch könnte das absolut beste aller Geschäfte mit einem Spezialschuh für Giesserei-Arbeiter zu machen sein. Mit einem zuerst aufgestellten, längerfristigen Grobplan läuft man dementsprechend Gefahr, das Optimum der kürzerfristigen Feinpläne zu verfehlen. Dies gilt nicht nur bei Ueberlappung, sondern auch bei einer Nicht-Ueberlappung der Pläne; im letzteren Falle wird der längerfristige Grobplan lediglich zu einem späteren Zeitpunkt konkretisiert. Der erwähnten Gefahr entgeht man theoretisch nur, wenn auch längerfristig fein geplant wird und alle realisierbaren Kombinationen länger- und kürzerfristiger Feinpläne zusammengestellt und gegeneinander abgewogen werden. Das wäre aber natürlich wiederum eine Scheinlösung; nicht in erster Linie, weil damit kein sachlicher Grund mehr bestehen würde, länger- und kürzerfristige Pläne zu unterscheiden, sondern vor allem weil man dann zwangsläufig darauf verzichten müsste, Pläne für Zeitabschnitte zu erstellen, für die vorerst nur grobe Voraussagen gemacht werden können. Aehnlich wie bei der Ablehnung subjektiver Wahrscheinlichkeitsurteile würde man damit die methodischen Schwierigkeiten bei der Verwertung bestimmter verfügbarer Informationen mit deren Nicht-Berücksichtigung aus der Welt zu

schaffen versuchen. Wir sind der Ansicht, dass es in den meisten Fällen vernünftiger sein dürfte, die beste unter den möglichen Kombinationen langfristiger Grob- und kurzfristiger Feinpläne zu ermitteln, auch auf die Gefahr hin, mit den Rahmenbeschlüssen am Optimum im strengen Sinne vorbeizuplanen. Eine Ueberlappung der Pläne scheint uns dabei (obwohl in der Praxis üblich) nicht unbedingt sinnvoll. Für sie spricht allein der Umstand, dass sich damit der Planungsaufwand verringern lässt: werden zuerst die langfristigen Grobplan-Varianten aufgestellt, so müssen danach nur Kombinationen mit den in deren Rahmen noch zulässigen Feinplänen untersucht werden. Demgegenüber erhöht sich das Risiko, indem dadurch auch im Feinplan-Bereich der unmittelbaren Zukunft die beste Variante übersehen werden kann. Die konkreten Vor- und Nachteile sind natürlich im Einzelfall abzuwägen.

Interessante Ansatzpunkte für die Behandlung des Entscheidungssequenzen-Problems enthält auch das Konzept der sogenannten "r o l l e n d e n" oder "g l e i t e n d e n P l a n u n g". In den meisten Fällen wird in Literatur und Praxis darunter folgendes verstanden: Im Zeitpunkt t_0 wird ein Plan über n Perioden bis zum Zeitpunkt t_n aufgestellt. Spezielle Planungsverfahren werden dafür nicht angegeben. Es gelten daher auch hier die bereits gemachten Bemerkungen über die bekannten mehrstufigen Planungsmethoden. Die Pläne können in allen n Perioden denselben Detaillierungsgrad aufweisen oder aber für spätere Zeitabschnitte nur noch in vergleichsweise groben Zügen festgelegt sein. Die theoretischen Unzulänglichkeiten und die praktischen Vorteile der Grobplanung als solcher haben wir soeben erwähnt. Typisch für die rollende Planung ist nun, dass in einem späteren Zeitpunkt (beispielsweise t_1), jedoch bevor der Horizont der ersten Planung erreicht wurde, erneut eine Planung über n Perioden durchgeführt wird. Der neue Plan würde sich im angenommenen Beispiel somit bis zum Zeitpunkt t_{n+1} erstrecken; neuer und alter Plan würden sich zwischen den Zeitpunkten t_1 und t_n überlappen; der neue Plan würde im Vergleich zum alten die zwischen t_0 und t_1 liegende Periode nicht mehr enthalten, dafür neu die Zeit zwischen t_n und t_{n+1} (siehe Abbil-

dung 4).

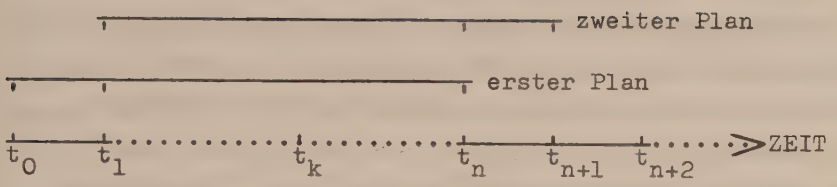

Abbildung 4: Prinzip der rollenden Planung

Das Verfahren kann laufend weitergeführt werden, indem noch vor Ablauf des zweiten Plans ein neuer, dritter aufgestellt wird, usw. Mit der rollenden Planung lassen sich drei Erscheinungen ausnützen, die mit dem Zeitablauf verbunden sind: Zum einen verschiebt sich üblicherweise der Prognosehorizont des Aktors um denselben Zeitbetrag in die Zukunft, der seit der letzten Voraussage verstrichen ist. Unter dem Prognosehorizont verstehen wir jene Zeitgrenze, bis zu welcher Voraussagen in der vom Aktor geforderten Qualität technisch möglich sind. Der Planungshorizont braucht nicht mit dem Prognosehorizont identisch zu sein. Gehen wir im Beispiel von Abbildung 4 ausnahmsweise von einer solchen Identität aus, so bedeutet die erste Erscheinung, dass mit dem Uebergang von t_0 zu t_1 sich der Prognosehorizont von t_n nach t_{n+1} verschiebt. Zudem können normalerweise nun genauere Aussagen über den bereits früher erfassten Prognosebereich zwischen den Zeitpunkten t_1 und t_n gemacht werden. Drittens ist der Zeitabschnitt von t_0 bis t_1 im Zeitpunkt t_1 zur Vergangenheit geworden, so dass über ihn nunmehr sichere Angaben grundsätzlich möglich sind. Martin Starrs Taschenlampen-Beispiel könnte entsprechend erweitert werden: Tut der Aktor einen Schritt nach vorne, so wandert der Lichtkegel seiner Lampe ebenfalls weiter, das vom Schein schon vorher erfasste Gebiet wird nun stärker ausgeleuchtet und über die Beschaffenheit des zurückgelegten Wegstückes und des neuen Standortes besteht jetzt Klarheit.

In der Literatur zur rollenden oder gleitenden Planung werden meist nur die

beiden ersten Erscheinungen erkannt und unzulängliche Schlüsse daraus gezogen (20). Es genügt im allgemeinen nicht, bei jedem neuen Planungszyklus lediglich die Prämissen der schon bestehenden Pläne zu überprüfen, auf diese selbst aber nur im Falle eines ungünstigen Prüfungsergebnisses oder, falls es sich erst um Grobpläne handelte, zu Konkretisierungszwecken zurückzukommen und sie im übrigen einfach mit einem Zusatz in die weitere Zukunft hinaus zu verlängern. Wer dies empfiehlt, übersieht, dass die Ergebnisse der vorhergehenden Planung durch die sich eröffnenden, neuen Möglichkeiten ohne weiteres über den Haufen geworfen werden können. Das bisherige Optimum bildet deshalb keine genügende Ausgangsbasis für die nächste Planungsrunde. Vielmehr müssten zur Ermittlung des neuen Gesamtoptimums alle im überlappten Zeitraum noch offenen Planvarianten erneut, nunmehr jedoch erweitert um sämtliche möglichen Fortsetzungen, berücksichtigt werden.

Eigenartig mutet an, dass die rollende Planung einerseits vor allem als ein Mittel gepriesen wird, um systematisch aus der Verringerung der Unsicherheit Nutzen zu ziehen, dass andererseits aber dabei fast immer deterministische Pläne aufgestellt werden. Wohl trifft es zu, dass man sich bei diesem Planungsverfahren theoretisch erst "im letzten Moment" festlegt, dass ein definitiver Plan stets nur für die unmittelbar anschliessende Periode besteht und dass zukünftige Vorhaben unter Umständen (je nach Planungshorizont und Planperiodenlänge) mehrmals mit immer besseren Vorschaudaten überprüft werden. Rechnet man jedoch nicht von Anfang an mit allen voraussehbaren Möglichkeiten und, so bekannt, ihren Wahrscheinlichkeiten, und entwickelt man nicht entsprechende Eventualpläne, so wird man häufig beim Eintreffen neuer Informationen feststellen müssen, dass man sich materiell eben doch schon festgelegt und dass man dabei aufs falsche Pferd gesetzt hat.

Von den beiden ersten der drei genannten, mit dem Zeitablauf verbundenen Erscheinungen wird somit in der rollenden Planung nur in unbefriedigender Weise Gebrauch gemacht. Die dritte Erscheinung wird kaum beachtet. Das hängt

damit zusammen, dass die rollende Planung praktisch nie die Form der Eventualplanung aufweist, der Kenntnis der im Planungszeitraum bereits erfolgten Entwicklungen aber vorwiegend für die Realisierung von Eventualplänen Bedeutung zukommt. Letztere lässt sich anhand von Abbildung 1 b) veranschaulichen, wenn man die dort dargestellten Varianten 3 und 4 als Pläne auffasst. Eine Eventualplanung würde bedeuten, dass der Aktor für jede der möglichen Entwicklungen (k_3 oder k_4, resp. k_5 oder k_6 oder k_7) eine speziell darauf ausgerichtete Fortsetzung vorsieht. Unter Berücksichtigung der vorauszusehenden Entwicklungen und der möglichen Planfortsetzungen legt er sich im Knotenpunkt 2 lediglich auf v_3 oder v_4 endgültig fest. Er kann danach mit weiteren definitiven Beschlüssen bis zu jenem Zeitpunkt zuwarten, an dem feststeht, welche der mit k_3 oder k_4, resp. k_5, k_6 oder k_7 bezeichneten Lagen sich tatsächlich eingestellt hat und gestützt auf dieses Wissen die entsprechende, vorbereitete Planfortsetzung in die Tat umsetzen. Eine grundsätzlich nicht zu behebende Schwäche weist dieses Konzept lediglich insofern auf, als im Knotenpunkt 2 (oder auch an einem der nachfolgenden Zeitpunkte, zu denen eine "rollende" Neuplanung vorgenommen wird) nicht unbedingt alle möglichen zukünftigen Entwicklungen erkennbar sind. Tritt tatsächlich eine unerwartete Entwicklung ein, so kann zwangsläufig auch eine Eventualplanung kein "Rezept" dafür enthalten. Die Ausgestaltung der rollenden Planung als Eventualplanung würde im übrigen bedingen, dass der Aktor nach jedem Zug der Natur herauszufinden versucht, wie dieser ausgefallen ist. Insofern wären Häufigkeit und Zeitpunkte von Planungstätigkeiten nicht frei wählbar. Mit der Ermittlung der eingetretenen Entwicklung müsste jedoch nicht notwendigerweise stets auch die Verlängerung der Pläne in die Zukunft und eine erneute Optimierung erfolgen. Die letztgenannten Tätigkeiten könnten grundsätzlich unabhängig und zum Beispiel in wesentlich grösseren Zeitabständen stattfinden (21).

Der Begriff der E v e n t u a l p l a n u n g wird in der Planungsliteratur unabhängig von der rollenden Planung seit längerer Zeit verwendet. Bereits Wittmann versteht darunter im Grunde dasselbe wie wir, wenn er es als nor-

males Vorgehen bei Unsicherheit bezeichnet, mehrere "alternative starre Pläne" vorzubereiten, unter denen man sich sukzessive, nach Massgabe der allmählich eintreffenen, zusätzlichen Informationen entscheiden werde (22). Die Entwicklung einer Theorie der Eventualplanung hätte wahrscheinlich die traditionelle Betriebswirtschaftslehre in der Behandlung sequentieller Probleme am ehesten weitergebracht. Leider ist auf diesem Gebiet ausser der Begriffsprägung sehr wenig geschehen. Das mag, wie die übrigen Schwächen der allgemeinen Planungslehre, zu einem guten Teil auch daran gelegen haben, dass viele Autoren bis heute in der Planung etwas anderes als ein zeitlich vorverlegtes Entscheiden sehen möchten (23). Folge davon war, dass die wesentlichsten Entwicklungen (insbesondere Optimierungsverfahren) zuerst in Entscheidungstheorie und Operations Research einsetzen mussten, bevor sie als auch für die Planung bedeutungsvoll erkannt wurden und langsam Eingang in die entsprechende Literatur finden konnten (im Falle der Eventualplanung unter der Bezeichnung "flexible Planung" ...).

Eine reine Eventualplanung macht lediglich von einer der drei mit dem Zeitablauf verbundenen erwähnten Erscheinungen Gebrauch; sie setzt einzig voraus, dass sich der Aktor über die erfolgten Entwicklungen ins Bild zu setzen sucht, um so unter den vorbereiteten Planfortsetzungen die richtige bestimmen zu können. Ist nicht auszuschliessen, dass im Zeitpunkt der Planaufstellung gewisse Entwicklungen noch nicht erkennbar, beziehungsweise vorstellbar, waren, so dürfte es sich allerdings häufig lohnen, zusätzlich die Möglichkeit genauerer Prognosen über die näherrückende Zukunft auszunützen. Der Aufwand dafür wird in der Regel nicht allzuhoch sein, da es zunächst bloss darum geht, nachzuprüfen, ob die ursprünglichen Voraussagen noch zutreffen. Einzig wenn dies nicht der Fall sein sollte, ist anzunehmen, dass die bestehende Eventualplanung den Umständen nicht mehr gerecht wird und es muss mit grösseren Neu- oder Umplanungsanstrengungen gerechnet werden. Will man sich schliesslich das Hinausrücken des Prognosehorizontes in die Zukunft zunutze machen, so ist die Eventualplanung "rollend" zu erweitern. Wir haben

bereits im Zusammenhang mit der rollenden Planung darauf hingewiesen, dass dies jedesmal eine Neuplanung bedingt. Der gesamte Planungsaufwand dürfte durch eine solche Erweiterung daher verhältnismässig stark ansteigen. Dem stehen die Vorteile gegenüber, die sich durch die laufende Einplanung der neuesten Möglichkeiten ergeben können.

Es hat sich im vorangehenden gezeigt, dass die Ansätze zur Behandlung des Entscheidungssequenzen-Problems in den allgemeinsten Teilen der Betriebswirtschaftslehre, insbesondere in der Planungstheorie, nicht eben zahlreich sind. In ihrer gegenwärtigen Form vermögen sie zudem durchwegs nicht zu befriedigen. Einige darunter weisen derart grundlegende Mängel auf, dass sie unserer Meinung nach nicht weiter verfolgt werden sollten; andere erscheinen uns, falls gewisse Erweiterungen und Verbesserungen vorgenommen werden, prinzipiell lebensfähig. Vergegenwärtigt man sich nun noch, dass bei einigen Ansätzen (namentlich bei Flexibilität, rollender Planung und "Rückwärtsplanung") nicht auszumachen ist, inwieweit die Theorie lediglich bereits bestehende Konzepte aus der Praxis übernommen, systematisiert, diskutiert und allenfalls ausgebaut hat, so ist das Ergebnis unserer bisherigen Untersuchungen für die traditionelle Betriebswirtschaftslehre nicht sehr schmeichelhaft. Es seien im folgenden auch aus diesem Grunde noch die Beiträge speziellerer Teile der betriebswirtschaftlichen Theorie zum Sequentialproblem kurz gestreift.

22.2 Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung

Unter den traditionellen Ansätzen in diesem Bereich beherrschen die sogenannten dynamischen Modelle das Feld. Im Gegensatz zu den statischen, bei denen die ersten Kosten- und Ertragskonsequenzen nach dem Entscheid als konstant und damit repräsentativ angenommen werden, wird hier der tatsächliche Konsequenzenanfall im Zeitablauf berücksichtigt und mittels Diskontie-

rung auf einen einheitlichen Nenner gebracht (24). Die Betrachtungsweise ist jedoch nur was die Konsequenzen angeht mehrperiodig; untersucht werden lediglich Einzelentscheide. Die Möglichkeit, dass auch Varianten hintereinander in einer zeitlichen Folge auftreten können, wird am ehesten noch im Zusammenhang mit den im Laufe einer Investition anfallenden Zwischengewinnen gesehen. Das dabei auftretende Reinvestierungsproblem wird aber meist mit dem Hinweis auf eine ständig offene Anlagemöglichkeit mit unbeschränkter Aufnahmekapazität und gleichbleibendem Zinsertrag (Bankeinlagen, Schatzscheine, etc.) abgetan. Diese "Lösung" vermag nicht nur deshalb nicht zu befriedigen, weil die Annahmen bezüglich der genannten Anlagearten längst nicht immer gerechtfertigt sind. Vor allem wird nicht berücksichtigt, dass meist noch weitere, unter Umständen bedeutend lukrativere Reinvestierungsmöglichkeiten bestehen. Allerdings stehen diese kaum je permanent offen, sondern nur zu ganz bestimmten Zeitpunkten, so dass sie im voraus (im Sinne einer Verhaltenssequenz) eingeplant werden müssten.

Auch die dynamischen Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnungen sind fast immer deterministischer Natur (25). Die Unsicherheit der Zukunft ist zwar bekannt; durch die Anwendung der Payback-Regel bei der Variantenwahl oder durch die Bevorzugung von Investitionsprojekten leichterer Reversibilität (26) ist sie jedoch ebensowenig befriedigend in den Griff zu bekommen wie durch eine Manipulation des Kalkulationszinsfusses (27).

Die Problematik künstlicher Planungshorizonte wird in den dynamischen Investitionstheorien durchwegs erkannt, weil häufig die Lebensdauer einer Anlage an dieser Grenze nicht zu Ende ist. Sozusagen standardmässig wird in diesen Fällen empfohlen, die Restwerte der Anlagen am Ende des Planungshorizonts in die Rechnung einzusetzen. Dies wirft zunächst die Frage nach der Methode zur Bestimmung dieser Werte auf. Liquidationserlöse sind kein tauglicher Massstab, wenn das Investitionsobjekt weiterhin von der Unternehmung selber genutzt wird. Dietrich Adam schlägt unter anderem vor, den

durchschnittlichen Grenzgewinn pro Produktionsfaktor-Einheit während der verbleibenden Zeitspanne zu schätzen und als Grundlage für die Restwert-Bestimmung zu benützen (28). Er weist ferner darauf hin, dass Investitionsentscheide selbst auf grosse Restwertunterschiede bei einer zeitlichen Distanz von fünf oder mehr Jahren nicht mehr sensitiv sind (29). Obwohl die Aussage vom jeweiligen Diskontierungssatz abhängt, wird das Restwert-Problem dadurch zweifellos in vielen Fällen entschärft.

Auch bei diesen recht wertvollen Erkenntnissen zum Thema Planungshorizont kann nicht übersehen werden, dass sich die Argumentation nach wie vor auf der Ebene des Einzelentscheides bewegt. Die Frage "Was geschieht nach der Zeitgrenze?" wird hier zwar gestellt, sie bezieht sich jedoch nur auf die weiteren Konsequenzen von vor dem Planungshorizont getätigten Investitionen, nicht etwa auch auf mögliche Anschlussmassnahmen. Im Zusammenhang mit der traditionellen Investitionsrechnung ist uns lediglich ein Beispiel bewusster Planung von Verhaltenssequenzen bekannt. Es handelt sich um die Anpassung der von einem Projekt zunächst erwarteten Reihe von Ein- und Auszahlungen an die Präferenzen des Aktors. Robert Wilson weist darauf hin, wie die häufig erstrebte Konstanz der Auszahlungen erreicht werden kann: Einzelne, übermässig hohe Erträge lassen sich durch Reinvestierungen "glätten", zu starke Beanspruchungen der eigenen Mittel durch Kreditaufnahmen vermeiden (30). Solche direkten, materiellen Verhaltensratschläge sind allerdings für die Lösung des allgemeinen Entscheidsequenzenproblems von beschränktem Nutzen. Interessanter erscheint uns hier die Tatsache, dass Menschen offenbar nicht nur bestimmte Ergebnisse als solche anderen vorziehen und dass sie dabei allenfalls noch Wahrscheinlichkeit und Zeitpunkt von deren Eintritt berücksichtigen (letzteres mittels Diskontierung), sondern dass sie auch Vorlieben hegen für ganz bestimmte Formen des Konsequenzenflusses. Diese Erscheinung ist bisher kaum beachtet worden, obwohl sie auch bei einzelnen Varianten eine Rolle spielt, welche mehrere, nacheinander eintretende Konsequenzen zur Folge haben. Von grösserer Bedeutung wird sie freilich bei Variantenket-

ten, da bei diesen ein Fluss von Konsequenzen den Normalfall darstellt. Wir werden daher noch auf sie zurückkommen.

22.3 Finanzierung

Abgeleitete und damit sozusagen unfreiwillige Verhaltenssequenzen sind auf dem Gebiete der Finanzierung häufig anzutreffen. Durch Saldierung der mit den verschiedenen Vorhaben der Unternehmung verbundenen Einnahmen- und Ausgabenströme und Vergleich mit den vorhandenen Mitteln werden allenfalls entstehende Finanzierungslücken aufgedeckt. Ein Plan zur Beschaffung der fehlenden Mittel wird danach entwickelt (31). Ein solcher wird somit in der Regel von selbst aus verschiedenen, zeitlich gestaffelten Massnahmen bestehen. Selbst wenn vor der Festlegung der einzelnen Finanzierungsmassnahmen noch verschiedene Varianten in Betracht gezogen wurden, kann ein so entstandener Plan natürlich nicht als eine rational bestimmte Entscheidungssequenz gelten. Dazu fehlt nicht allein die Gleichzeitigkeit der Bestimmung von Finanzierung und übriger Unternehmungstätigkeit (32), sondern auch das Abwägen von ganzen Variantenfolgen gegeneinander. Durch abschliessende Feinabstimmungen nach dem Rückkopplungsprinzip, wie sie in der Literatur oft empfohlen werden, sind beide Mängel nicht grundsätzlich zu beheben.

22.4 Einkauf, Lagerhaltung und Produktion

In überraschendem Gegensatz zu den übrigen Bereichen der Betriebswirtschaftslehre weisen Einkauf, Lagerhaltung und Produktion schon seit langem gewisse Verfahren zur Bestimmung optimaler Verhaltenssequenzen auf. Wir meinen damit die Algorithmen zur Bestellmengen- oder Seriengrössenoptimierung. Die ersten sollen bereits um das Jahr 1915 entwickelt worden sein (33). Sie beruhten, wie auch alle Weiterentwicklungen bis in die späten fünfziger Jahre, auf der Differentialrechnung. Wir benutzen hier das klassische Bestellmengen-

und Seriengrössenproblem als Beispiel, um Prinzip und Bedingungen einer Sequenzenbestimmung mittels der Differentialrechnung im allgemeinen zu veranschaulichen.

Die klassischen Ansätze bezwecken eine Minimierung der Summe jener Kosten, die von der Grösse oder der Anzahl der Bestellungen, respektive Serien abhängen. Sie gehen deshalb von einer Zielfunktion aus, welche zumeist etwa die folgende Struktur aufweist:

1) $K = \frac{d}{q} \cdot a + \frac{q}{2} \cdot b$

wobei K die genannte Kostensumme,

d die Anzahl insgesamt zu beschaffender, bzw. herzustellender Einheiten eines Gutes,

q die Grösse der einzelnen Bestellung, bzw. Serie,

a die bestellungs-, bzw. seriefixen Kosten

und b die bestellungs-, bzw. serienvariablen Kosten je Einheit des bewussten Gutes

bezeichnet.

Die Bewertung der halben Bestell- oder Seriengrösse q mit den variablen Kosten b im Ausdruck 1) unterstellt eine vollkommen gleichmässige Verteilung des Gesamtbedarfes d über den betrachteten Zeitraum.

Durch partielle Differentiation der Kostenfunktion 1) nach q und Nullsetzung des entstehenden Ausdruckes erhält man schliesslich 2) als Formel für die Berechnung der optimalen Bestell- oder Seriengrösse q^*:

2) $q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot d \cdot a}{b}}$ (34)

Es mag zunächst nicht ohne weiteres einleuchten, dass mit q^* tatsächlich eine optimale Verhaltenssequenz in unserem Sinne bestimmt ist. Mit Hilfe der Optimierungsformel 2) wird jedoch nicht nur über die unmittelbar folgende Bestellung

oder Serie entschieden, sondern die günstigste Aufteilung der gesamten Bedarfsmenge d in Teilmengen q ermittelt. Aus der Division von d durch q^* ergibt sich, wie manche optimal grosse Bestellung oder Serie vorzusehen ist. Durch Einsetzen von q^* in 1) erhält man die minimale Kostensumme K. Dieses Minimum ist jedoch nach der materiellen Problemlage nur zu erreichen, wenn die Auslösung der optimalen Bestellungen oder Serien mit der Verteilung des Gesamtbedarfes d über den Planungszeitraum synchronisiert wird. Die optimalen Teilmengen dürfen mit anderen Worten nicht etwa gleichzeitig, sondern sie müssen eine nach der anderen verwirklicht werden. Ein sequentielles Vorgehen ist also erforderlich (abgesehen natürlich von Sonderfällen, in denen $q^* = d$). Die zeitlichen Abstände, in denen die einzelnen Bestellungen oder Serien auszulösen sind, lassen sich aus der bekannten Bedarfsverteilung ableiten.

Aus dem Beispiel der Bestell- und Seriengrössenoptimierung, sowie aus den Eigenschaften der Differentialrechnung als solcher ergibt sich folgendes:

Die Grundvoraussetzung für eine Entscheidungsoptimierung mittels Differentialrechnung ganz allgemein besteht darin, dass die Zusammenhänge zwischen Varianten und Konsequenzen (im Beispiel: zwischen den verschiedenen möglichen Teilmengen q und der Kostensumme K) in der Form stetiger und differenzierbarer Funktionsgleichungen ausgedrückt werden können.

Der Begriff der Funktion ist im strengen, mathematischen Sinne zu verstehen. Das heisst, dass die genannten Zusammenhänge rechtseindeutig, beziehungsweise die Konsequenzen aller Varianten sicher sein müssen. Auf die Seltenheit sicherer Verhältnisse bei Entscheidungsproblemen haben wir bereits hingewiesen. Auch wo sie gegeben ist, ist die Formulierung der Zusammenhänge in der Form von Funktionsgleichungen sehr oft nicht möglich. Stetigkeit und Differenzierbarkeit der Funktionen als weitere Bedingungen engen die Anwendungsmöglichkeiten der Differentialrechnung zusätzlich ein. In zweierlei Hinsicht ist die

Stetigkeit beispielsweise auch im Bestell- und Seriengrössenproblem nicht gegeben: Als Varianten kommen zum einen von der Problemlage her nur ganzzahlige Teilmengen q in Betracht. Ein Ergebnis $q^* = 24{,}0208$ Stück etwa, wie es sich bei Anwendung der Formel 2) ohne weiteres einstellen könnte, ist natürlich nicht zu verwirklichen. Das ist in diesem Zusammenhang nur deshalb ohne Belang, weil aus dem Verlauf der Kostenfunktion 1) hervorgeht, dass dann unter den echten, ganzzahligen Varianten entweder $q = 24$ oder $q = 25$ die beste Lösung sein muss. Die noch offene Frage lässt sich durch Einsetzen der beiden Werte in Gleichung 1) rasch beantworten. Im Falle komplizierterer Zielfunktionen hingegen braucht das Optimum durchaus nicht in einem der beiden benachbarten ganzzahligen Werte zu bestehen, sondern es kann an einer völlig anderen Stelle der Funktion liegen. Die Suche danach wird dann durch ein theoretisches Optimalresultat in Bruchform in keiner Weise mehr erleichtert. Die zweite Unstetigkeit im Bestell- und Seriengrössenproblem betrifft die fixen Kosten a. Deren Unabhängigkeit von der Bestell- oder Seriengrösse wird in der Betriebswirtschaftslehre zu Recht hervorgehoben. Mit dem entsprechenden Glied in Gleichung 1) wird aber dennoch Stetigkeit unterstellt (35). Das Paradepferd betriebswirtschaftlicher Entscheidoptimierung mittels Differentialrechnung hinkt demnach gleich auf zwei Beinen! Immerhin handelt es sich hier um eher leichte Gehfehler, die sich bei seinem praktischen Einsatz in der Regel nicht stark bemerkbar machen. Zur Voraussetzung der Stetigkeit im allgemeinen ist jedoch zu sagen, dass sie im strengen Sinne in betriebswirtschaftlichen Zusammenhängen kaum je erfüllt ist. Auch der meist als Beispiel einer kontinuierlichen Entscheidvariablen genannte Preis ist genau genommen unstetig: Bruchteile der jeweils kleinsten Währungseinheit können nicht gefordert werden. Ob materiell unstetige Zusammenhänge durch stetige Funktionen in befriedigender Weise wiedergegeben werden können, ist eine Frage, die sich nicht generell beantworten lässt; selbst nicht, wie wir schon erwähnt haben, für "leichtere Fälle", bei denen die Unstetigkeit allein mit Ganzzahligkeitsbedingungen zusammenhängt. Was schliesslich die zusätzlich erforderliche Dif-

ferenzierbarkeit angeht, so ist diese praktisch bei den weitaus meisten stetigen Funktionen ebenfalls gegeben, so dass dadurch die Anwendungsmöglichkeiten der Differentialrechnung kaum weiter beschnitten werden. Immerhin bildet die Stetigkeit lediglich eine notwendige, nicht aber eine hinreichende Bedingung der Differenzierbarkeit.

Dass die genannten Voraussetzungen der Anwendbarkeit der Differentialrechnung nicht leicht zu erfüllen sind, beweist auch die neuere Entwicklung auf dem Gebiete der Bestell- und Serienplanung. Anlass zu dieser war teilweise direkt die häufige Unerfüllbarkeit der Differenzierbarkeitsbedingungen (insbesondere etwa derjenigen der Sicherheit und der Stetigkeit des Bedarfes), teilweise auch die als zu eng erkannte, klassische Problemstellung (36). In jedem Falle aber beruhen die neueren Ansätze nicht mehr auf der Differentialrechnung, sondern auf Verfahren der mathematischen Programmierung oder der Heuristik (37). Mit den entsprechenden Methoden werden wir uns später gesondert und nicht mehr im speziellen Zusammenhang der Bestell- und Serienprobleme befassen.

Es bleibt nachzutragen, dass die Möglichkeiten der Differentialrechnung (sofern diese überhaupt anwendbar ist) zur Bestimmung optimaler Verhaltenssequenzen etwas grösser sind, als das Beispiel der Bestell- und Seriengrössenoptimierung zu zeigen vermag. Bekanntlich können mit ihr auch die Extremstellen von Funktionen m e h r e r e r Variabler bestimmt werden. Sind überdies Nebenbedingungen einzuhalten, so hilft häufig die Multiplikatorenmethode nach Lagrange weiter. Allerdings entsprechen den damit erhaltenen Lösungen nicht mit Sicherheit Extremstellen der Funktion. Der Nachweis, dass tatsächlich solche vorliegen, und die Abklärung, ob es sich um Maxima oder Minima handelt, können schwierig sein (38). Beispiele für die Maximierung oder Minimierung einer Zielfunktion mit mehreren unabhängigen (Entscheidungs-) Variablen und Einschränkungen sind die aus der linearen Programmierung bekannten Mischungsprobleme. Sind die berechne-

ten Optimalwerte der verschiedenen Entscheidungsvariablen teilweise oder allesamt zeitlich hintereinander zu verwirklichen, so liegt auch hier wieder eine Massnahmensequenz vor, ähnlich wie bei der klassischen Bestell- und Seriengrössenoptimierung, wo die günstigste Teilmenge als Optimalwert der einzigen Entscheidvariablen normalerweise mehrfach und dabei stets in zeitlichen Abständen zu realisieren ist. Daraus lässt sich das folgende grundlegende Ergebnis ableiten: Beim Problem der Bestimmung einer optimalen Entscheidungssequenz handelt es sich, formal gesehen, um nichts anderes als um ein Problem der Optimierung mehrerer Variablenwerte. Der Zeit als Variablen kommt grundsätzlich keine Sonderbedeutung zu. Demnach eignet sich an sich jedes Verfahren, mit dem mehrere, gleichzeitig durchzuführende, optimale Massnahmen bestimmt werden können, auch zur Optimierung von Entscheidungssequenzen. Voraussetzung ist lediglich, dass sich das Sequentialproblem in einer dem jeweiligen Verfahren gemässen Form ausdrücken lässt; auch damit unterscheidet es sich aber nicht von den analogen, nichtsequentiellen Problemen. Dass diese Voraussetzung freilich mitunter schwer oder überhaupt nicht zu erfüllen ist, hat das Beispiel der Differentialrechnung gezeigt.

Die Literatur zur Produktionsplanung weist neben dem Seriengrössenproblem eine weitere, weniger bekannte, jedoch anspruchsvollere Anwendung der Differentialrechnung zur Entscheidsequenzenoptimierung auf: die sogenannte lineare Entscheidungsregel von Holt, Modigliani und Simon (39). Mit linearen Formeln werden dabei diejenigen Werte der beiden Entscheidvariablen "Produktionsvolumen" und "Personalbestand" ermittelt, die zur niedrigsten Summe der entsprechenden Kosten über mehrere Perioden führen (40). Grundlage der Berechnungen bilden Nachfrageschätzungen für die einzelnen Planperioden. Variablenwerte aufeinanderfolgender Perioden sind durch Rekursionsbeziehungen miteinander verbunden. Auf die Wirklichkeitsnähe dieses weiteren speziellen Modells einzutreten, erübrigt sich in diesem Zusammenhange. Erwähnenswert ist dagegen, dass es offenbar meist nach der

Art der rollenden Planung gehandhabt wird. Das heisst, dass Produktion und Personalbestand nur für die erste Planperiode definitiv bestimmt werden; nach deren Abschluss erfahren die Nachfrageprognosen nötigenfalls Anpassungen und die Formeln gelangen erneut zur Anwendung. Der Unsicherheit wird so wenigstens teilweise Rechnung getragen.

Neben den beiden erwähnten Anwendungen der Differentialrechnung finden sich im Bereich der betriebswirtschaftlichen Produktionslehre kaum weitere bemerkenswerte Ansätze zur Entscheidsequenzbestimmung. Von der üblichen mehrstufigen Produktionsplanung ist dasselbe zu sagen, was zur mehrperiodigen Planung im allgemeinen festgehalten wurde: Es handelt sich entweder um "rückwärts" erarbeitete Projektpläne oder aber um heuristische Zusammenstellungen und Abstimmungen von Planelementen, für die anstelle systematischer Verfahren lediglich technische Planungshilfsmittel angeboten werden. An letzteren herrscht im Produktionsbereich kein Mangel; erinnert sei nur an Balkendiagramme, Gantt-Karten, die Meilenstein-Technik, etc. (41). Ab und zu werden auch materielle Hinweise auf die Möglichkeiten einer gegenseitigen Abstimmung verschiedener Planphasen erteilt, so etwa wenn die Glättung von Beschäftigungsschwankungen durch Fertigung auf Lager oder die Berücksichtigung des Lerneffektes bei längerdauernden, gleichen Tätigkeiten nahegelegt werden (42). Für das Problem, dass wegen zu knapper Kapazitäten nicht alle vorliegenden Fertigungsaufträge zu den gewünschten Terminen erledigt werden können, sind in der Literatur Prioritätsregeln aufgestellt worden. Mit Kriterien wie "früherer Auftragseingang", "kürzere Bearbeitungszeit" oder "früherer Liefertermin" werden Reihenfolgen zur Abwicklung der anstehenden Aufträge festgelegt. Dazu ist zweierlei zu sagen. Zum einen wird das Problem der Bestimmung einer Verhaltenssequenz offensichtlich aufgespalten in die beiden Teilprobleme, w a s alles zu tun ist und w a n n die verschiedenen Tätigkeiten durchzuführen sind, wobei unterstellt wird, dass das erste Teilproblem bereits gelöst worden ist; auf welche Weise, bleibt dahingestellt. Ob eine derartige Unterteilung des Gesamtproblems

im skizzierten Produktionsplanungsbeispiel zu vertreten ist, soll hier nicht näher untersucht werden. Allgemein gesprochen, liegt wiederum ein Vorgehen in Stufen vor, wie wir es bereits im Falle der länger- und kürzerfristigen Planung angetroffen haben: Zuerst wird ein Grob-, dann ein entsprechender Feinentscheid getroffen. Indem der Aktor zunächst die durchzuführenden Produktionsaufträge als solche bestimmt, drückt er aus, dass er von der betreffenden Auftragskombination, abgewickelt in ihrer erst noch festzulegenden, optimalen Reihenfolge, ein günstigeres Ergebnis erwartet, als von jeder aus den abgelehnten Auftragskombinationen allenfalls herstellbaren Sequenz. Dass eine derartige Annahme zwar den Entscheidungsaufwand zu verringern vermag, dass sie andererseits aber nicht unbedingt zuzutreffen braucht, haben wir früher schon erwähnt. Abgesehen von diesem grundsätzlichen Einwand gegen die implizierte Entscheidungsmethodik kann die Formulierung von Prioritätsregeln durch die Theorie zum zweiten deshalb wenig befriedigen, weil diese einem Aktor bestenfalls Denkanstösse zu vermitteln vermögen. Es kann ja nicht behauptet werden, irgendeine der vorgeschlagenen Regeln sei den andern generell vorzuziehen. Ihre Beurteilung hängt vielmehr davon ab, welche Ziele der Aktor verfolgt und unter welchen Umständen die Regeln zum Einsatz gelangen. Zu diesen Punkten aber finden sich in der traditionellen betriebswirtschaftlichen Literatur allenfalls vage Angaben im Sinne tendenzieller Vorzüge und Nachteile einzelner Regeln. Systematischer und umfassender werden diese Fragen in der Warteschlangentheorie unter dem Stichwort "Bedienungsreihenfolge" (englisch "service discipline") behandelt, allerdings meist in der typischen Untersuchungsweise dieser Disziplin, welche U.N. Bhat als "behavioristisch" bezeichnet (43): mittels mathematischer Analyse oder Monte-Carlo Simulation wird das Verhalten eines Systems unter verschiedenen, standardisierten Voraussetzungen ermittelt. Auf diese Weise prüfen denn auch beispielsweise Conway und Maxwell die Auswirkungen verschiedener Prioritätsregeln bei unterschiedlichen Produktionsverhältnissen (44). Es ist jedoch fraglich, ob die prakti-

schen Verhältnisse so häufig mit den relativ wenigen normierten und untersuchten Fällen übereinstimmen oder ob deren Zahl allenfalls so stark erhöht werden könnte, dass dieses Vorgehen als sinnvoll zu bezeichnen ist. Als wertvoller würden wir es jedenfalls erachten, wenn die Theorie Verfahren entwickeln würde, welche den Aktor in den Stand setzen, eine auf seine individuellen Verhältnisse zugeschnittene, optimale Prioritätsregel selbst zu entwickeln (45). Das Aufstellen einer Regel ist indessen nur dann angebracht, wenn mit mehreren gleichartigen Fällen zu rechnen ist. Am allgemeinsten verwendbar wären deshalb Methoden, mit denen sich im Einzelfalle die jeweils günstigste Reihenfolge der Durchführung vorgegebener Tätigkeiten bestimmen liesse. Derartige Methoden fehlen aber sowohl in den tradtitionellen Produktionslehren als auch in der Warteschlangentheorie.

22.5 Organisation

Betriebswirtschaftliche Organisationslehren befassen sich teilweise ebenfalls mit Verhaltenssequenzen, und zwar meist unter dem Titel "Ablauforganisation". Die Unternehmungsorganisation wird dabei unter dem Aspekt der optimalen Erledigung vorgegebener Aufgaben betrachtet. Die Problemstellung gleicht somit derjenigen der "Rückwärtsplanung": Bestimmte Leistungen sind zu vollbringen; gesucht wird das beste Vorgehen dazu. Die Organisationslehre unterstellt aber dabei, dass die zur Leistung erforderlichen, einzelnen Tätigkeiten (zumindest in groben Zügen) bereits bekannt sind. Sie befasst sich damit, diese Tätigkeiten nötigenfalls zu unterteilen oder zusammenzufassen, die entsprechenden Teilaufgaben geeigneten Stellen zuzuweisen und ihre Durchführung zu regeln. Auch hier wird demnach implizit ein Gesamtproblem künstlich zerschnitten, indem angenommen wird, die Frage, was getan werden solle, lasse sich vor und unabhängig von der Frage beantworten, wer es tun solle und wie dabei im einzelnen vorzugehen sei. Diese Annahme dürfte sich häufig als nicht gerechtfertigt erweisen, insbesondere

bei der Organisation von Einzelprojekten und auch bei der erstmaligen Festlegung von Abläufen, die in der Folge sehr oft zu durchlaufen sind (wie zum Beispiel die meisten Produktionsprozesse). In etlichen Fällen mag die Unterteilung der Problematik hingegen durchaus angebracht sein, so etwa wenn es darum geht, einen bereits bestehenden Ablauf zu verbessern. Lassen vorgelagerte Entscheidungen und technische Gegebenheiten dann noch entsprechende Freiheitsgrade offen, so kann eine Verhaltenssequenz teilweise oder durchwegs aus organisatorischen Gründen zustandekommen. Das heisst beispielsweise: Die einzelnen Tätigkeiten, aus denen sich eine bestimmte Leistung zusammensetzt, könnten an sich sowohl gleichzeitig als auch nacheinander durchgeführt werden. Um eine günstigere Auslastung von Mitarbeitern und Anlagen zu erzielen, wird jedoch eine sequentielle Ablauforganisation entworfen. F. Nordsieck unterscheidet vier Stufen der Organisierbarkeit oder Regelbarkeit von Arbeitsabläufen: Stufe 1: nur die verschiedenen Tätigkeiten als solche können vorgegeben werden; Stufe 2: ausser den Tätigkeiten lässt sich auch deren Reihenfolge festlegen; Stufe 3: es kann auch die für jede Tätigkeit aufzuwendende Zeit bestimmt werden; Stufe 4: die Aufgaben sind wiederkehrend und der zeitliche Abstand, in denen die verschiedenen Tätigkeiten zu wiederholen sind (der Arbeitstakt), lässt sich fixieren (46). Aus der Beschreibung der Stufen geht hervor, dass Nordsieck die Organisierbarkeit der Abläufe nicht in Abhängigkeit von den jeweils offenen Freiheitsgraden, sondern von den Informationsmöglichkeiten sieht. Als Grundlagen der Entscheidungsmöglichkeiten sind beide Faktoren wichtig und die Nordsiecksche Stufeneinteilung ist bei etwas geänderter Formulierung auch zur Charakterisierung bestehender Freiheitsgrade verwendbar. Folgerungen, welche die Methodik der Entscheidfindung betreffen, werden jedoch in der Literatur zur Ablauforganisation aus diesem bekannten Klassifikationsschema nicht gezogen. Die Entscheidhilfen, welche diese Literatur anzubieten hat, beschränken sich im wesentlichen auf zwei Gruppen, nämlich auf Techniken der Datenerfassung und auf Grundsätze zur Ablaufgestaltung. Unter den Techniken der Datenerfassung sind die bekannten

Methoden der Zeitmessung, des Bewegungsstudiums, der graphischen Darstellung von Arbeitsflüssen, etc. zu verstehen. Grundsätze der Ablaufgestaltung sind etwa: "Jede nicht erforderliche, überflüssige oder doppelte Arbeit, Transport, Lagerung und Kontrolle müssen unterbleiben. Es ist der direkte Weg zum Aufgabenziel zu wählen und mit Stetigkeit einzuhalten. ... Dieser Weg ist mit dem geringsten Zeitaufwand zu beschreiten. Die Auslastung aller eingesetzten Mitarbeiter, Anlagen und Hilfsmittel, sowie die Ausnutzung der Materialien soll eine optimale sein." (47) Die ausgewählten Beispiele können als durchaus typisch bezeichnet werden. Es handelt sich bei diesen Grundsätzen somit zu einem guten Teil um Leerformeln; zum Teil stehen sie auch miteinander in Konkurrenz, so etwa, wenn sowohl kürzeste Ausführungszeit als auch optimale Beschäftigung gefordert werden. Insgesamt eignen sich die ablauforganisatorischen Grundsätze und Techniken unseres Erachtens bestenfalls zur "Feineinstellung", das heisst dazu, einer bereits weitestgehend festgelegten Sequenz von Tätigkeiten den letzten Schliff zu geben. Sind aber durch vorgelagerte Entscheide oder technische Bedingungen beispielsweise lediglich die zu erbringenden Leistungen und die dafür notwendigen Tätigkeiten als solche vorgegeben, so lässt sich das verbleibende Problem mit diesen Grundsätzen und Techniken allein nicht lösen, denn für die Aufstellung verschiedener möglicher Sequenzen, für die Bewertung derselben als Ganze und für die Wahl der besten Gesamtlösung stellen sie kaum eine Hilfe dar.

22.6 Absatz

Von allen Teilen der traditionellen Betriebswirtschaftslehre enthält der Bereich des Absatzes die weitaus meisten Hinweise auf sequentielle Probleme. Stark verbreitet ist insbesondere die Erkenntnis, dass eine bestimmte Marktsituation kaum je lange Bestand hat. Zahlreiche Veränderungsprozesse sind beobachtet, beschrieben, typisiert und zu Gesetzmässigkeiten erhoben worden. Teilweise werden daraus auch Folgerungen für die Absatzanstrengungen

des Aktors abgeleitet. Man berücksichtigt dabei, dass der Aktor sich an die Situationsentwicklung nicht bloss anpassen, sondern dass er diese oftmals selbst beeinflussen und so den Boden für spätere Massnahmen vorbereiten kann. In vielen neueren Veröffentlichungen wird sogar die Ansicht vertreten, Verkäufe seien praktisch nie durch Einzelmassnahmen zu erzielen, sondern nur durch Ketten aufeinander abgestimmter, die Situation allmählich "reif" machender Massnahmen. Einige typische Beispiele sollen im folgenden diese Arten von Ansätzen veranschaulichen.

Charakteristische Situationsentwicklungen werden vorwiegend bei wirtschaftlichen und psychologischen Grössen festgestellt, teilweise theoretisch begründet und hinsichtlich ihrer Folgen für die absatzsuchende Unternehmung untersucht. Bekannt sind die verschiedenen Thesen über Verlauf, Ursachen und Möglichkeiten der Beeinflussung des Lebenszyklus eines Produktes (48). Aehnlicher Natur sind die fünf nach Lockley benannten Prinzipien zur Entwicklung von Konsumgütermärkten. Sie sagen unter anderem den allmählichen Wandel eines Produktes von einem Sondergut zu einem Alltagsgut, die damit verbundene Abnahme der Verkaufsanstrengungen von Zwischenhändlern und Detaillisten zugunsten dieses Produktes, das Aufkommen von Konkurrenzmarken und die Verlagerung des Wettbewerbes vom Preissektor auf andere Teile des Angebotes voraus (49). Unter den vielen Anleihen, welche in der Absatzliteratur bei der Psychologie gemacht werden, sind vor allem die verschiedenen Lerntheorien, gewisse Erkenntnisse der Kommunikationsforschung und die Gesetze von Weber und Fechner für den Aufbau von Massnahmensequenzen von Bedeutung. Aus dem Wissen über die Prozesse des Lernens, Erinnerns und Vergessens werden denn auch beispielsweise Folgerungen über Informationsstand und -bedarf von Konsumenten, sowie den Aufbau von Werbekampagnen gezogen (50). Die Erkenntnisse über die Bedeutung bestimmter Gruppenmitglieder (etwa der sogenannten "Meinungsführer") für das Verhalten anderer haben zur Entwicklung entsprechender Verkaufsstrategien geführt: Zunächst werden vorwiegend diejenigen Personen "bearbeitet", welche den Kaufent-

scheid anderer massgebend beeinflussen. Bei der Markteinführung eines neuartigen Schädlingsbekämpfungsmittels zum Beispiel können dies die Besitzer besonders ertragreicher Bauernhöfe sein. Autonome, gruppeninterne Kommunikationsvorgänge sorgen dann für die Verbreitung von Informationen über das Produkt: andere Gruppenmitglieder gehen die von ihnen anerkannten Autoritätspersonen um Rat an oder diese teilen ihre Erfahrungen und Ansichten ungefragt mit (51). Die weiteren Verkaufsbemühungen der Unternehmung können danach auf eine entsprechend vorbereitete potentielle Käuferschaft ausgerichtet werden. Nach dem zuerst von Weber aufgestellten, später von Fechner mathematisierten psychophysischen Gesetz nimmt die Intensität einer Empfindung nur unterproportional zu im Vergleich zur Steigerung des Reizes, durch den sie ausgelöst wird (52). Auch daraus sind in der Absatz-, insbesondere in der Werbeliteratur, vielfach Folgerungen für den Aufbau von Massnahmensequenzen gezogen worden.

"Psychologie" wird im übrigen im Absatzbereich seit eh und je auch unabhängig von der zuständigen Fachwissenschaft betrieben. Davon zeugen insbesondere unzählige Spekulationen und Untersuchungen über die Bestimmungsgründe von Kaufentschlüssen. Unter dem Gesichtswinkel des Entscheidsequenzenproblems sind darunter vor allem die zahlreichen Stufenmodelle von Interesse. Frühere Vertreter dieser Theorien waren der Ansicht, die möglichen Käufer müssten von der Unternehmung in mehreren Phasen zum Erwerb von deren Produkten gebracht werden. Im Falle des bekannten AIDA-Modelles hiesse dies, dass nacheinander die Stufen "Aufmerksamkeit", "Interesse", "Kaufwunsch" und "Kaufhandlung" (englisch "attention", "interest", "desire" und "action") zu überwinden wären. Nach neueren Auffassungen ist das Durchlaufen der gesamten Stufenleiter nicht mehr unbedingte Voraussetzung für einen Kauf, doch soll die Wahrscheinlichkeit für einen solchen mit der Zahl der zurückgelegten Stufen zunehmen. Eine Sequenz von Massnahmen könnte sich somit auch nach dieser Hypothese lohnen, wenn dadurch bei den möglichen Käufern Stufen immer stärkerer Kaufneigung ausgelöst würden. Kristian Palda geht freilich auch mit

diesen modernisierten Stufenthesen vom wissenschaftlichen Standpunkt aus hart ins Gericht (53).

Das Bewusstsein, dass der Aktor mit vielen seiner Massnahmen den Boden für zukünftige Schritte günstig oder ungünstig beeinflusst und dass dieser Umstand beim Entscheid ebenfalls berücksichtigt werden sollte, ist im Absatzsektor weit besser verbreitet als in den übrigen Bereichen der Betriebswirtschaftslehre. Dazu haben nicht nur viele psychologische oder psychologisierende Theorien entsprechenden Inhaltes beigetragen, sondern immer auch schon Beobachtungen der Auswirkungen bestimmter Typen von Absatzmassnahmen in der Praxis. Als Beispiel sei hier nur die intensive Beschäftigung mit den längerfristigen Konsequenzen von Verkaufsaktionen erwähnt. Da wird etwa vermerkt, dass ein Geschäft sich durch häufige Sonderangebote den Ruf besonderer Preisgünstigkeit schaffen könne, dass andererseits dadurch öfters Kunden verärgert würden, die einen Artikel noch zu den üblichen Bedingungen gekauft haben, und dass zeitlich zu dicht aufeinanderfolgende Aktionen mit dem gleichen Produkt dazu führten, reguläre Einkäufe vorwegzunehmen oder aufzuschieben (54). Schliesslich sei darauf hingewiesen, dass die sogenannten "Public Relations"-Massnahmen allein den Zweck verfolgen, das zwischen Unternehmung und Oeffentlichkeit herrschende Klima zu pflegen, beziehungsweise zu verbessern. Man hofft damit den Erfolg jener Anstrengungen zu vergrössern, mit denen die eigentlichen Ziele der Unternehmung erreicht werden sollen. Wegen der Gefahr, dass die Oeffentlichkeit die Absicht merkt und verstimmt wird, warnen allerdings viele Autoren ausdrücklich davor, Public Relations mit dem Blick auf kommerziellen Interessen zu betreiben, das heisst, entsprechende Massnahmensequenzen zu planen.

Es ist seltsam, dass trotz dem vergleichsweise guten Verständnis für sequentielle Zusammenhänge auch in der traditionellen Absatzliteratur kein Bedürfnis nach speziellen Entscheidungsmethoden für solche Problemlagen aufgekommen zu sein scheint. Offenbar war man zufrieden damit, dass typische Situa-

tionsentwicklungen und ihre teilweise Beeinflussbarkeit erkannt wurden, woraus sich Hinweise für die unternehmerische Absatztätigkeit ableiten liessen. Das kann jedoch aus verschiedenen Gründen nicht befriedigen. Bei den wahrgenommenen Zusammenhängen handelt es sich um ziemlich grobe Tendenzen und überdies nicht um Naturgesetze. Folgerungen aus ihnen können deshalb zwangsläufig nur recht allgemeiner Natur sein und ihre Richtigkeit im einzelnen Falle ist erst noch nachzuprüfen. Das heisst beispielsweise: Einem Hotelbesitzer, der beabsichtigt, sein Haus durch Preisnachlässe während der flauen Zeiten besser auszulasten, mag zu Ohren gekommen sein, dass derartige Aktionen nicht zu häufig durchgeführt werden sollten. Versucht er, diese Literaturmeinung bei seiner Planung zu berücksichtigen, so muss er selbst herausfinden, was "zu häufig" in seinem Falle konkret bedeutet. Die Regel vermag ihm nicht mehr als einen Fingerzeig für die Lösungssuche zu geben. Zudem muss sich der Hotelier fragen, ob sie in seinem Falle überhaupt zutrifft. Könnten tatsächlich grosse Massen bisheriger Hochsaison-Gäste ihre Ferien in die Rabattperioden vor- oder nachverlegen und dadurch die Aktionen zu einem wirtschaftlichen Misserfolg werden lassen? Ist nicht vielmehr zu erwarten, dass durch die Niedrigpreisangebote Gästeschichten angesprochen werden, die sich bisher einen Aufenthalt im betreffenden Hotel finanziell nicht erlauben konnten? Erkenntnisse über materielle Zusammenhänge sind im Bereiche der Betriebswirtschaftslehre selten allgemeingültig. Ihr Wert beschränkt sich meist auf denjenigen von Hypothesen, denen, da sie sich in anderen Verhältnissen bereits als richtig erwiesen haben, eine gewisse Wahrscheinlichkeit des Zutreffens anhaftet, die aber trotzdem nicht unbesehen übernommen werden können. Wir haben diese Ansicht bereits in der kurzen Uebersicht über die bisherigen Phasen in der Entwicklung der Betriebswirtschaftslehre geäussert (vgl. Kapiteil 11.2); sie gilt auch für die zahlreichen Thesen in der traditionellen Absatzliteratur, welche den Aufbau von Massnahmensequenzen nahelegen.

Mit dem Absatzbereich ist unsere Uebersicht über sequentielle Problemstellungen und ihre Behandlung in den spezielleren Teilen der traditionellen Be-

triebswirtschaftslehre abgeschlossen. Das Ergebnis ist im wesentlichen nicht anders ausgefallen als bei der vorangegangenen Untersuchung der allgemeineren Theorieteile. Unter den verschiedenen Ansätzen sind zwar einige wenige recht interessant, so etwa der Hinweis auf das Bestehen von Präferenzen bezüglich bestimmter Konsequenzenflüsse oder der Einsatz der Differentialrechnung zur Bestimmung optimaler Sequenzen. In keinem einzigen Falle werden jedoch die wichtigsten der mit der Sequentialität verbundenen Probleme einigermassen umfassend erkannt, analysiert und gelöst. Als ein ernsthafter Versuch lässt sich in dieser Hinsicht nur die lineare Entscheidungsregel von Holt, Modigliani und Simon bezeichnen. Viele andere Ansätze hingegen erwecken den Eindruck, ihre Schöpfer seien mehr oder weniger zufällig auf einen sequentiellen Teilaspekt des gerade behandelten Problems gestossen und hätten diesen mit einer passabel erscheinenden Teillösung als erledigt betrachtet. Dies gilt beispielsweise für die Behandlung des Reinvestierungsproblems in der Investitionstheorie, für die Prioritätsregeln im Produktionsbereich, die Grundsätze der Ablauforganisation und die verschiedentlich angetroffenen Winke hinsichtlich des konkreten Inhalts von Massnahmensequenzen. Schliesslich fällt auf, dass auch in den spezielleren Teilen der traditionellen Betriebswirtschaftslehre die Unsicherheit der Konsequenzen entweder nicht erkannt oder ausdrücklich aus den Betrachtungen ausgeklammert oder dann mit sehr notdürftigen Mitteln behandelt wird.

In den beiden folgenden Kapiteln befassen wir uns mit der Behandlung des Sequentialentscheides in der Entscheidungs- und in der Spieltheorie. Da diese beiden Wissenschaftszweige sich mit der Methodik der Entscheidfindung als solcher befassen, sollten sie zumindest diejenigen Schwächen der traditionellen Betriebswirtschaftslehre nicht aufweisen, welche auf eine lückenhafte Problemsicht zurückgehen, wie sie sich bei der Beschäftigung mit einzelnen, konkreten Problemtypen bestimmter Anwendungsbereiche leicht einstellen kann.

Anmerkungen zu den Kapiteln 2.21 - 22.6

1 Jacob, H.: Unsicherheit und Flexibilität. Zur Theorie der Planung bei Unsicherheit; in: ZfB 1974; S. 301 f.

2 Siehe beispielsweise:

Kaufmann, A.: Entscheidungstechnik im Management; München 1968; S. 99.

Wittmann, W.: Unternehmung und unvollkommene Information; Köln, Opladen 1959; S. 173.

3 Wittmann, W., op.cit. (1959); S. 175.

4 Die hier angedeuteten Probleme bei der Bestimmung von Planungshorizont und Periodenlänge werden von Martin K. Starr wenigstens teilweise erkannt, jedoch auch nicht gelöst. Starr unterscheidet im übrigen nicht zwischen den beiden Begriffen, sondern verwendet durchwegs den Ausdruck "Planungshorizont".

Siehe Starr, M.K.: Planning Models; in: Management Science, Band 13 (1966); S. B-125 f., B-127, B-137 und B-138.

5 Vgl. Gutenberg, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, erster Band: Die Produktion; Berlin, Göttingen, Heidelberg 1960; S. 114 ff.

6 Die wichtigsten Diskussionsbeiträge waren (in chronologischer Reihenfolge):

Schneider, D.: Flexible Planung als Lösung der Entscheidungsprobleme unter Ungewissheit? In: ZfbF 1971; S. 831 ff.

Hax, H. und Laux, H.: Flexible Planung - Verfahrensregeln und Entscheidungsmodelle für die Planung bei Ungewissheit; in: ZfbF 1972; S. 318 ff.

Ackermann, A., Röck, H. und Weber, H.H.: Bemerkungen zu dem Aufsatz "Flexible Planung als Lösung der Entscheidungsprobleme unter Ungewissheit?" von Dieter Schneider; in: ZfbF 1972, S. 453 ff.

Schneider, D.: "Flexible Planung als Lösung der Entscheidungsprobleme unter Ungewissheit?" in der Diskussion; in: ZfbF 1972; S. 456 ff.

Hax, H. und Laux, H. : Zur Diskussion um die flexible Planung; in: ZfbF 1972; S. 477 ff.

Schneider, D. : Anpassungsfähigkeit und Entscheidungsregel unter Ungewissheit; in: ZfbF 1972, S. 745 ff.

Mellwig, W. : Flexibilität als Aspekt unternehmerischen Handelns; in: ZfbF 1972; S. 724 ff.

Koch, H. : Zur Diskussion über die Theorie der Sekundäranpassung. Die Problematik der Risikonutzentheorie. In: ZfbF 1973; S. 773 ff.

Mellwig, W. : Gewinnsicherung und Auswahlkriterium bei Unsicherheit; in: ZfbF 1973; S. 792 ff.

Schneider, D. : "Anpassungsfähigkeit und Entscheidungsregel unter Ungewissheit" in der Diskussion; in: ZfbF 1973; S. 805 ff.

Ein vorläufiges Fazit versuchte Wild zu ziehen: Wild, J. : Grundlagen der Unternehmungsplanung; Reinbek 1974; S. 76 ff.

Die Diskussion ist teilweise wieder aufgenommen worden von Jacob: Jacob, H. , op.cit. (1974); S. 299 ff. , S. 403 ff. und S. 505 ff.

7 Vgl. Markowitz, H.M. : Portfolio Selection, Efficient Diversification of Investments; London, etc. 1959.

Für eine systematische Uebersicht über die Möglichkeiten zur Erreichung dieser Form von Flexibilität siehe:

Wittmann, W. , op.cit. (1959).

Nach Dieter Schneider (op.cit. (1972 b); S. 748) geht die betriebswirtschaftliche Risikotheorie bereits auf Oberparleiter zurück:

Oberparleiter, K. : Funktionen und Risiken des Warenhandels; o.O. , 1930.

Zu beachten ist schliesslich, dass der Ausdruck "Risikopolitik" hier nicht dasselbe bezeichnet wie in den früher zitierten Arbeiten von Spetzler (vgl. Anmerkung 30, Teil 1): Hier wird darunter die Vermeidung oder Abwälzung negativer Konsequenzen du ch entsprechende Massnahmen verstanden, während Spetzler damit eine einheitliche Richtlinie hinsichtlich des Eingehens oder Nichteingehens bestimmter Risiken meint.

8 Hart, A.G. : Anticipations, Uncertainty and Dynamic Planning; Chicago 1940; S. 55.

9 Wittmann, W. , op.cit. (1959); S. 189 ff.

10 Jacob, H., op.cit. (1974); S. 322.

Mellwig, W., op.cit. (1972); S. 727.

11 Entwickelt wurde die Theorie vor allem in:

Koch, H.: Zur Diskussion in der Ungewissheitstheorie; in: ZfbF 1960; S. 49 ff.

Koch, H.: Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsrechnung. Probleme der betriebswirtschaftlichen Entscheidungslehre; Wiesbaden 1970.

12 Vgl. Koch, H., op.cit. (1973); S. 774.

13 Genannt seien hier nur: Die Ueberbetonung der Primärsituation; die allzu grobe Erfassung der Risikohaltung des Aktors (allein durch das Mindesteinkommen); die nicht eindeutige und zudem oft von einer Veröffentlichung zur nächsten ändernde Fassung vieler Teile der Theorie. Trotz den Bemühungen von Autoren wie Jacob und Mellwig, in diesen und weiteren Punkten Verbesserungen zu erzielen, erscheint der Ansatz letztlich verfehlt. (Vgl. die in Anmerkung 6 bereits erwähnten Diskussionsbeiträge von Jacob und von Mellwig.)

14 Siehe unter anderem:

Marschak, T. und Nelson, R.: Flexibility, Uncertainty, and Economic Theory; in: Metroeconomica 1962; S. 42 ff.

Jacob, H., op.cit. (1 74); S. 323 ff.

15 Wenn wir hier von mehrstufiger oder mehrperiodiger Planung sprechen, so gehen wir davon aus, dass dabei Pläne für mindestens zwei Stufen oder Perioden gleichzeitig festgelegt werden, womit bezweckt wird, zwischen den Stufen (Perioden) bestehende Zusammenhänge zu berücksichtigen. Wild bezeichnet dies im speziellen als "simultane mehrstufige Planung" und er unterscheidet hiervon die "sukzessive mehrstufige Planung", bei der im Zeitpunkt t_0 ein Plan für die erste Stufe, im Zeitpunkt t_1 ein solcher für die zweite Stufe aufgestellt wird, usw. Er erkennt jedoch selbst, dass sachlich im letzteren Falle nichts anderes als eine mehrmalige einstufige Planung betrieben wird. Diese zusätzliche Unterscheidung bei der mehrstufigen oder mehrperiodigen Planung scheint uns deshalb überflüssig.

Siehe: Wild, J., op.cit. (1974); S. 78 f.

16 Starr, M.K., op.cit. (1966); S. B-136.

17 Wild bezeichnet dies als Staffelung, Schachtelung oder Reihung der verschiedenfristigen Pläne.

Wild, J., op.cit. (1974); S. 171 ff.

18 Alles vorangehende: Wild, J., op.cit. (1974); S. 174 ff.

19 Wild, J., op.cit. (1974); S. 83.

20 Siehe neben anderen:

Agthe, K.: Das Problem der unsicheren Erwartungen bei unternehmerischen Planungen und Entscheidungen; in: Agthe, K. und Schnaufer, E. (Hrsg.): Unternehmungsplanung; Baden-Baden 1963; S. 117.

Mellwig, W., op.cit. (1972); S. 726 f.

Wittmann, W., op.cit. (1959); S. 206 ff.

21 Wie sich aus einzelnen Bemerkungen (S. 178 f.) ableiten lässt, scheint auch Wild die von uns gerügten Schwächen der üblichen Verfahren rollender Planung im wesentlichen zu erkennen. Er betrachtet es jedoch als ein Definitionsmerkmal dieser Art von Planung, dass nur die erste Periode fein geplant und für die übrigen Perioden lediglich eine Grobplanung durchgeführt wird (vgl. S. 144). Er unterliegt demzufolge erneut dem bereits im Zusammenhange mit der länger- und der kürzerfristigen Planung gemachten Irrtum und fordert auch hier eine vollständige Ueberdeckung der Feinplanung durch die Grobplanung und die Deduzierung der ersteren aus der letzteren (S. 178 f.).

Alles: Wild, J., op.cit. (1974).

22 Wittmann, W., op.cit. (1959); S. 180.

23 Der Grund hierfür wiederum dürfte häufig in der Befürchtung liegen, dass andernfalls der Begriff der Planung nicht mehr eindeutig von demjenigen der Entscheidung abgegrenzt werden könnte, da ja auch jede Entscheidung gegenüber der eigentlichen Durchführung in einem gewissen Masse zeitlich vorverlegt ist. Gupta und Rosenhead helfen hier aus der terminologischen Sackgasse, wenn sie (in Anlehnung an Peter F. Drucker) formulieren: "ein Plan wird erst zur Entscheidung, wenn er unwiderruflich ist." Die Präzisierung vermag allerdings nicht

zu verhindern, dass durch die erwähnte Begriffsauffassung die Planungslehre zu einer eher unbedeutenden Erweiterung der Entscheidungslehre wird. Wir vermögen hierin jedoch keinen Nachteil zu erblicken; die Betriebswirtschaftslehre weist genügend offene Probleme auf, ohne dass künstlich zusätzliche geschaffen werden müssten.

Zum Zitat siehe: Gupta, S.K. und Rosenhead, J.: Robustness in Sequential Investment Decisions; in: Management Science, Oktober 1968; S. B-19.

24 Siehe etwa Schmidt, R.B. und Berthel, J.: Unternehmungsinvestitionen; Reinbek 1970; S. 10 f.

25 Eine der wenigen Ausnahmen im deutschen Sprachbereich stammt von Albach:

Albach, H.: Wirtschaftlichkeitsrechnung bei unsicheren Erwartungen; Köln, Opladen 1959.

26 Vgl. zum Beispiel Hilke, W.: Investitionsentscheidungen unter Unsicherheit und klassische Methoden der Investitionsrechnung; in: Information, November 1969; S. 23.

Der Begriff der Reversibilität einer Entscheidung ist verwandt mit demjenigen der Flexibilität, jedoch enger als dieser. Er wird auch ausserhalb der Investitionstheorie verwendet. Meist wird dabei nicht auf die Möglichkeit des Rückgängigmachens schlechthin Bezug genommen, sondern zusätzlich nach den damit verbundenen, mehr oder weniger hohen Kosten gefragt. Siehe wiederum Hilke, a.a.O.; ferner:

Miller, D.W. und Starr, M.K.: Executive Decisions and Operations Research; Englewood Cliffs 1960; S. 417.

Rückgängigmachen ist natürlich längst nicht immer die beste Antwort auf einen Fehlentscheid. Das Konzept der Reversibilität scheint uns daher noch weniger brauchbar als dasjenige der Flexibilität.

27 Hilke, W., op.cit. (1969); S. 28 f.

28 Adam, D.: Die Bedeutung der Restwerte von Investitionsobjekten für die Investitionsplanung in Teilperioden; in: ZfB 1969; S. 391 ff.

29 Adam, D., op.cit. (1968); S. 402.

Vgl. ferner auch Gupta, S.K. und Rosenhead, J., op.cit. (1968); S. B-20.

30 Wilson, R. : Investment Analysis under Uncertainty; in: Management Science, August 1969; S. B-655 f.

31 Siehe etwa Sizer, J. : An Insight into Management Accounting; Harmondsworth, Baltimore, Ringwood 1972; S. 130 ff.

32 Darauf weisen auch Schmidt und Berthel hin.

Schmidt, R.-B. und Berthel, J., op.cit. (1970); S. 50 ff. und S. 97 ff.

33 Siehe etwa entsprechende Angaben zur Geschichte der Bestellmengen-, resp. Seriengrössenoptimierung bei Dellmann und bei Zangwill.

Dellmann, K. : Ein heuristisches Modell zur gewinnmaximalen Seriengrössen- und Seriensequenzplanung; in: ZfB 1974; S. 139.

Zangwill, W.I. : A Backlogging Model and a Multi-Echelon Model of a Dynamic Economic Lot Size Production System - A Network Approach; in: Management Science, Mai 1969; S. 506.

34 Dass es sich um eine Minimumstelle der Kostenfunktion handelt, ergibt die zweite Ableitung.

35 Zur Veranschaulichung ein Beispiel: Wenn $q^* = 24,0208$ Stück die optimale Seriengrösse für die Fertigung von insgesamt $d = 90$ Einheiten darstellt und die günstigste ganzzahlige Seriengrösse 24 Stück beträgt, so würde dies die Herstellung von 3,75 Serien erfordern. Es dürfte zwar technisch keinerlei Schwierigkeiten bereiten, drei volle Serien zu 24 Stück und eine Teilserie zu 18 Stück herzustellen. Mit Gleichung 1) wird aber fälschlicherweise angenommen, dass dadurch der 3,75-fache Betrag der fixen Kosten a entstehen würde, während in Tat und Wahrheit natürlich auch bei der Fertigung der Teilserie die vollen fixen Kosten anfallen.

36 Es zeigte sich namentlich bei der Serienfertigung in Mehrprodukteunternehmungen, dass die Reihenfolge der Herstellung der verschiedenen Erzeugnisse, die Abstimmung der Kapazitätsbelastungen und weitere Gesichtspunkte der Produktionsplanung eine allzu wichtige Rolle spielen, als dass die Seriengrössen der einzelnen Produkte unabhängig davon sinnvoll zu optimieren wären.

37 Zur modernen Bestell- und Serienplanung vgl. :

Dellmann, K., op.cit. (1974).

Hochstädter, D.: Stochastische Lagerhaltungsmodelle; Berlin, Heidelberg, New York 1969.

Popp, W.: Einführung in die Theorie der Lagerhaltung; Berlin, Heidelberg, New York 1968.

Zangwill, W.I., op.cit. (1969).

38 Siehe etwa:

Gellert, W., et al., op.cit. (1967); S. 439 f.

Wagner, H.M.: Principles of Operations Research with Applications to Managerial Decisions; Englewood Cliffs 1969; S. 603 f.

39 Holt, C.C., Modigliani, F. und Simon, H.A.: A linear decision rule for production and employment scheduling; in: Management Science 1955, Band 2, Nr. 1; S. 1 ff.

Siehe ferner:

Gavett, J.W.: Planning Models; in: Starr, M.K. (Hrsg.): Management of Production; Harmondsworth, Baltimore, Ringwood 1970; S. 211 ff.

Weiterentwicklungen des ursprünglichen Ansatzes von Holt, Modigliani und Simon enthalten:

Orrbeck, M.G., Schuette, D.R. und Thompson, H.E.: The Effect of Worker Productivity on Production Smoothing; in: Management Science, Februar 1968; S. B-332 ff.

Taubert, W.H.: A Search Decision Rule for the Aggregate Scheduling Problem; in: Management Science, Februar 1968; S. B-343 ff.

Wagner, H.M., op.cit. (1969); S. 684 ff.

40 Die tatsächlichen Kostenverläufe werden von Holt, Modigliani und Simon mit quadratischen Funktionen angenähert. Nach den allgemeinen Differentiationsregeln ergeben sich daraus lineare Ausdrücke zur Bestimmung der Extremstellen; daher auch die Bezeichnung "lineare Entscheidungsregel".

41 Für eine Uebersicht siehe etwa:

Buffa, E.S.: Modern Production Management; London, etc. 1961; S. 488 ff.

Magee, J.F.: Production Planning and Inventory Control; New York, Toronto, London 1958; S. 198 ff.

Miller, R.W.: Schedule, Cost, and Profit Control with PERT; New York, Toronto, London 1963; S. 17 ff.

Thumb, N.: Grundlagen und Praxis der Netzplantechnik; München 1968; S. 145 ff.

42 Zum letzteren Punkt vgl.:

Pegels, C.C.: On Startup or Learning Curves: An Expanded View; in: Starr, M.K., op.cit. (1970); S. 183 ff.

Schneider, D.: Lernkurven und ihre Bedeutung für die Produktionsplanung und Kostentheorie; in: ZfbF 1965; S. 501 ff.

43 Bhat, U.N.: Sixty Years of Queuing Theory; in: Management Science, Februar 1969; S. 282 ff.

44 Conway, R.W. und Maxwell, W.L.: Network Dispatching by the Shortest Operations Discipline; in: Operations Research 1962; S. 51 ff.

45 Ein (allerdings sehr spezieller) Ansatz in dieser Richtung findet sich nach Bhat bei Etschmaier:

Etschmaier, M.: Discretionary Priority Processes; Techn.Memo. No. 60, Operations Research Group, Case Institute of Technology, 1966.

Nach Bhat, U.N., op.cit. (1969); S. B-289.

46 Nordsieck, F.: Betriebsorganisation; Stuttgart 1961; S. 29 ff.

47 Nordsieck, F., op.cit. (1961); S. 39.

48 Siehe etwa:

Dean, J.: Pricing Policies for New Products; in: Harvard Business Review, November-Dezember 1950; S. 28 ff.

Kotler, P.: Competitive Strategies for New Product Marketing over the Life Cycle; in: Management Science, Dezember 1965; S. B-104 ff.

Kotler, P.: Marketing Management: Analysis, Planning, and Control; Englewood Cliffs 1967; S. 290 ff. und 281 ff.

Levitt, T.: Exploit the product life cycle; in: Harvard Business Review, November-Dezember 1965; S. 81 ff.

Wasson, C.R.: How Predictable Are Fashion and Other Product Life Cycles? In: Journal of Marketing, Juli 1968; S. 36 ff.

49 Lockley, L.C.: An Approach to Marketing Theory; in: Cox, R., Alderson, W. und Shapiro, S.J. (Hrsg.): Theory in Marketing; Homewood 1964; S. 37 ff.

50 Vgl. etwa:

Johannsen, U. und Flämig, J.: Die Bedeutung der Erkenntnisse der "Lernpsychologie" für Werbung und Marktforschung; in: GfM-Mitteilungen 1964; S. 110 ff.

Lee, A.M.: Decision Rules for Media Scheduling: Dynamic Campaigns; in: Operations Research Quarterly, Dezember 1963; S. 365 ff.

Nerlove, M. und Arrow, K.J.: Optimal Advertising Policy Under Dynamic Conditions; in: Economica, Mai 1962; S. 129 ff.

51 Verschiedene empirische Untersuchungen haben gezeigt, dass den Meinungsäusserungen von Bekannten im persönlichen Kontakt hohe Bedeutung für die Kaufentscheidung zukommen kann (für Uebersichten siehe Cox, sowie Kotler). Die Konzentration unternehmerischer Absatzanstrengungen auf solche kaufbeeinflussende Personen (z.B. auch auf die technischen Spezialisten in der Firma eines Kunden) wird in der englischsprachigen Literatur oft als "selling-in-depth" bezeichnet. Neuere Studien sprechen nicht einfach von Meinungsführern, sondern unterscheiden verschiedene Typen von kaufbeeinflussenden Personen und untersuchen die Gründe, welche diese zu Autoritäten für die übrigen Gruppenmitglieder machen (siehe wiederum Cox und Kotler).

Cox, D.F.: Clues for Advertising Strategists; in: Harvard Business Review, November-Dezember 1961; S. 168 ff.

Kotler, P., op.cit. (1967); S. 79 ff und S. 342 ff.

52 Siehe z.B.: Drever, J. und Fröhlich, W.D.: Wörterbuch zur Psychologie; München 1968; S. 81 f und S. 255.

53 Palda, K.S.: The Hypothesis of a Hierarchy of Effects: A Partial Evaluation; in: Journal of Marketing Research, Februar 1966; S. 13 ff.

54 Siehe beispielsweise Jones, F.M.: Retail Management; Homewood 1967; S. 560 ff.

2.3 Ansätze zu einer allgemeinen Theorie des Sequentialentscheides

23.1 Weiterentwicklungen der Entscheidungstheorie

Käme jemand auf die Idee, am entscheidungstheoretischen Schrifttum seit etwa 1965 den Anteil jener Seiten zu bestimmen, die sich mit den Sequentialentscheid befassen, so würde das Ergebnis kaum über zehn Prozent liegen. Mindestens drei Viertel der betreffenden Seiten wiederum dürften, grob geschätzt, einem Verfahren der Problemdarstellung, sowie einer Methode der Optimumbestimmung gewidmet sein: dem Entscheidungsbaumverfahren und der "Rollback"-Methode. B a u m - D a r s t e l l u n g e n wurden von uns bereits in Abschnitt 11.3 zur Veranschaulichung verschiedener Typen von Einzelentscheidungen verwendet. In der folgenden Abbildung 5 wird mit diesem Verfahren derjenige realistische Problemtyp dargestellt, mit dem sich die Literatur zum Sequentialentscheid nahezu ausschliesslich befasst. Es handelt sich um ein mehrstufiges Spiel gegen die Natur, bei dem Eintreffenswahrscheinlichkeiten für die verschiedenen möglichen Konsequenzen bekannt sind. Abbildung 5 zeigt davon den formal einfachsten reinen Fall: Die Zahl der Stufen beschränkt sich auf zwei; bei jedem der Entscheidungsknotenpunkte 1, 4, 5, 6 und 7 liegen lediglich zwei Varianten zur Wahl vor; jede Variante kann nur zwei verschiedene Konsequenzen zur Folge haben (siehe die Zufallsknotenpunkte 2 und 3, sowie 8 bis 15).

Die Möglichkeiten, sequentielle Entscheidungsprobleme mit der Baumtechnik darzustellen, sind zunächst vom Grundsätzlichen her begrenzt: Es können damit nur diskrete, keine kontinuierlichen Varianten und Konsequenzen wiedergegeben werden, und die Anzahl der Stufen muss endlich sein. Praktisch sind dem Verfahren jedoch weit engere Grenzen gesteckt, die sich aus dem Platzbedarf und der erforderlichen Uebersicht ergeben. Aus diesen Gründen wurde bereits in Abbildung 5 von der üblichen, schiefwinkligen Baumdarstellung der Abbildungen

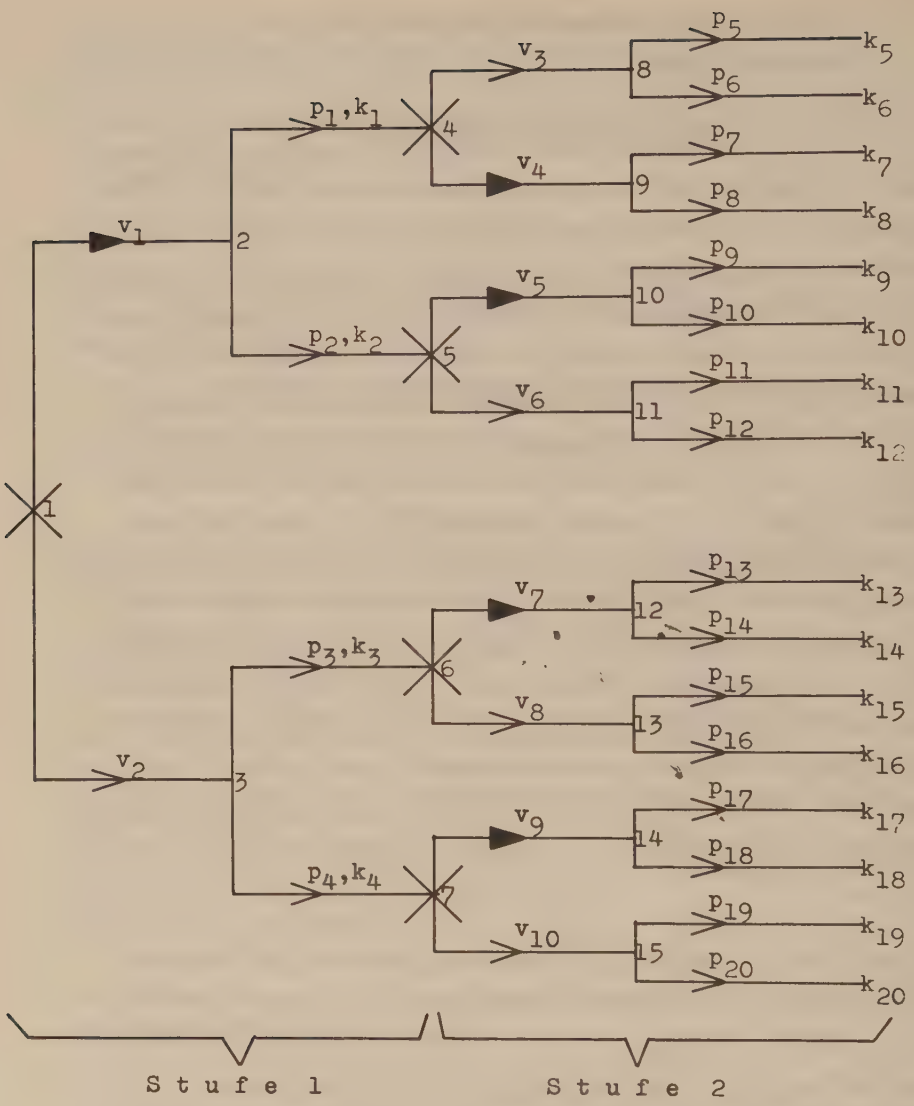

Abbildung 5: Zweistufiges Spiel gegen die Natur; Konsequenzen mit Eintreffenswahrscheinlichkeiten.

1 bis 3 abgegangen und es wurden die Eintreffenswahrscheinlichkeiten der verschiedenen Konsequenzen in der nochmals vereinfachten Form p_n anstelle der früheren Schreibweise $p(k_n)$ ausgedrückt. Vergegenwärtigt man sich, dass eine dritte nach dem gleichen einfachen Bildungsprinzip erzeugte Stufe in Abbildung 5 schon 32 weitere Varianten und 64 zusätzliche Konsequenzen mit sich bringen würde, so wird klar, dass die Darstellung eines Sequentialproblems in Baumform rasch die Ausmasse eines Wandbildes beanspruchen kann. Es ist ja zu bedenken, dass in der Wirklichkeit nicht nur häufig wesentlich mehr als drei Stufen zu berücksichtigen sind, sondern dass auch pro Entscheidknotenpunkt in der Regel mehr als zwei Varianten offenstehen und dass eine Variante bei Unsicherheit zumeist mehr als zwei mögliche Konsequenzen aufweist. John F. Magee, dem über längere Zeit eifrigsten und bekanntesten Befürworter der Entscheidungsbaumtechnik, ist daher nur bedingt zuzustimmen, wenn er dieses Verfahren als hervorragend geeignet für die Verdeutlichung komplizierter Zusammenhänge preist (1). Wir würden eher sagen: Im Rahmen der erwähnten, grundsätzlichen Anwendungsmöglichkeiten gibt es tatsächlich kein Verfahren, das sich besser dazu eignet, ein allgemein strukturiertes, sequentielles Entscheidungsproblem zu verdeutlichen. Gerade wenn es sich um grössere Probleme handelt, stösst jedoch auch die Entscheidungsbaumtechnik schnell an praktische Grenzen. Es wäre zwar ohne weiteres möglich, ein grösseres Sequentialproblem stückweise in einen Computer einzuspeichern. Eine entsprechende Knotennumerierung könnte für die richtige Strukturierung des Gesamtproblems durch das Programm sorgen. Zwecks Platzersparnis könnte der Aktor immer nur gerade jene Streckenzüge des gesamten Entscheidungsbaumes zusammenstellen und auf dem gewünschten Ausgabemedium darstellen lassen, die er im Augenblick zu analysieren wünscht (falls die Analyse nicht ebenfalls vom Computer übernommen wird). Sachlich aufeinanderfolgende Varianten zusammen mit ihren Konsequenzen als einzelne Blöcke zu formulieren und den Computer unter Angabe der Reihenfolge einzeln einzugeben, setzt jedoch voraus, dass zwischen den betreffenden Blöcken Unabhängigkeit besteht. Was das bedeutet, wird in

einem speziellen Kapitel des dritten Hauptteils dieser Arbeit untersucht.

Für das bekannte Verfahren zur Bestimmung optimaler Entscheidungssequenzen dürfte auch in der deutschsprachigen Literatur die Bezeichnung "R o l l b a c k" am erbreitetsten sein. Weitere, häufig verwendete Ausdrücke in der deutschen und in der angelsächsischen Literatur sind: "Rückwärtsintegration", "backwards induction", "averaging-out-and-folding-back". Alle diese Bezeichnungen betonen ein hervorstechendes Merkmal dieser Methode, welches darin besteht, dass die Lösung "von hinten nach vorn", das heisst, von der letzten zur ersten Stufe der Sequenz hin erarbeitet wird. Wesentlicher als dieses "Rückwärtsschreiten" selber ist indessen der Umstand, dass dabei die optimale Gesamtlösung aus optimalen Teillösungen zusammengesetzt wird. Dass dies eine Anwendung des O p t i m a l i t ä t s p r i n z i p s der dynamischen Programmierung darstellt, wird erst im neuesten Schrifttum zur Rollback-Analyse erwähnt (2). Es ist deshalb nicht deutlich, ob das Rollback-Verfahren unabhängig von der dynamischen Programmierung oder in Anlehnung an diese entstanden ist. Wichtig ist in erster Linie, dass mit dem beiden Methoden eigenen, stückweisen "Zusammenbau" des Gesamtoptimums der Aufwand zu dessen Ermittlung oft ganz erheblich gesenkt werden kann; dies gegenüber einer Enumeration und einem anschliessenden Vergleich aller möglichen Gesamtsequenzen. Am Beispiel von Abbildung 5 bedeutet die Anwendung des Optimalitätsprinzips, dass nicht die erwarteten Gesamtkonsequenzen aller zweistufigen Verhaltenssequenzen (das heisst: v_1, v_3; v_1, v_4; v_1, v_5; v_1, v_6; v_2, v_7; v_2, v_8; v_2, v_9; v_2, v_{10}) ermittelt und miteinander verglichen zu werden brauchen. Es wird vielmehr zunächst nur die günstigere unter den auf der zweiten Stufe jeweils offenstehenden Varianten (v_3 und v_4, v_5 und v_6, v_7 und v_8, v_9 und v_{10}) bestimmt und gekennzeichnet (in der Baumdarstellung von Abbildung 5 mit einem schwarz ausgefüllten Pfeil). Für die weiteren Berechnungen wird allein der Wert der von der jeweils günstigeren Variante zu erwartenden Konsequenzen noch benötigt. Er stellt gleichsam den Wert des entsprechenden Entscheidungsknotenpunktes dar: Ist man zum Beispiel am Knotenpunkt 7 angelangt,

so kann man den Wert der Konsequenzen von Variante v_9 erwarten, denn man wird hier diese und nicht v_{10} als sein Verhalten wählen. Im nächsten Lösungsschritt wird die günstigere der beiden Varianten v_1 und v_2 ermittelt, und zwar auf Grund des Wertes ihrer möglichen unmittelbaren Konsequenzen (k_1 und k_2, beziehungsweise k_3 und k_4), sowie der Werte der optimalen Fortsetzungen (v_4 und v_5, beziehungsweise v_7 und v_9). Damit liegt zugleich das optimale Verhalten des Aktors über beide Stufen fest (3).

Ein von vornherein über zwei oder mehr Stufen geplantes Verhalten wird von vielen Autoren als S t r a t e g i e , von anderen als Politik bezeichnet. Wir ziehen den ersten Ausdruck vor, einerseits weil er weitgehend dem eingebürgerten Gebrauch in militärischem Zusammenhange entspricht, andererseits weil der zweite Begriff im Schrifttum zur Unternehmungspolitik mit einem anderen, unseres Erachtens sinnvolleren, weil ebenfalls dem allgemeinen Sprachempfinden weitgehend entsprechenden Inhalt verwendet wird (4).

Der Charakter einer Strategie ist verschieden, je nachdem, ob sie sich auf ein Sequentialproblem mit durchwegs sicheren Konsequenzen oder auf einen Fall mit mindestens teilweiser Unsicherheit bezieht. Um es mit Peter C. Fishburn grammatikalisch auszudrücken: Nur unter der ersten Voraussetzung besteht eine Strategie aus lauter Befehlssätzen, also beispielsweise aus der Anweisung: "Führe zuerst Variante v_1 durch; danach realisiere Variante v_4." Bei Unsicherheit müssen die Verhaltensanweisungen eingeschränkt werden. Im schematischen Beispiel von Abbildung 5 könnte dies zur folgenden Formulierungsweise der optimalen Strategie führen: "Verwirkliche zuerst Variante v_1. Wenn darauf Konsequenz k_1 eintritt, so führe als nächstes Variante v_4 durch. Kommt es aber zur Konsequenz k_2, so wähle anstelle von v_4 die Variante v_5." (5) Eine Strategie stellt somit das Ergebnis einer Eventualplanung dar, deren Wesen wir bereits in Abschnitt 2.2 beschrieben haben. Kennzeichnend ist, dass für alle voraussehbaren Fälle bedingte Entscheidungen getroffen werden. Weil der Aktor sich damit auf jede denkbare Eventualität so gut wie mög-

lich vorbereitet, sprechen Hax und Laux auch von "flexibler Planung" (6). Es ist schliesslich zu beachten, dass Strategien für die erste Entscheidstufe stets, also auch bei Unsicherheit, eine unbedingte Verhaltensanweisung enthalten. Der Aktor muss ja wissen, was er in der Ausgangslage, in der er sich befindet, tun soll (wobei dieses Tun auch in einem Abwarten oder im Einholen zusätzlicher Informationen bestehen kann).

Das Bellmansche Optimalitätsprinzip ist evident; es gilt für jede optimale Strategie. Demgemäss kann grundsätzlich auch jede optimale Strategie in der geschilderten Weise aus schrittweise erweiterten, optimalen Teilstrategien aufgebaut werden. Der Optimierungsaufwand verringert sich durch diese Vorgehensweise jedoch nur dann wesentlich, wenn die verschiedenen Stufen des Entscheidungsproblems voneinander unabhängig sind. In den von uns untersuchten, entscheidungstheoretischen Veröffentlichungen zum Rollback-Verfahren scheint einzig Alain Tuffery dies zu erkennen. Er weist darauf hin, dass die Additivität des Auswahlkriteriums (in seinem deterministischen Beispiel der Gewinn) Voraussetzung dafür ist, dass jeder neue Optimierungsschritt auf der Grundlage des Konsequenzengesamtwertes der bisher ermittelten optimalen Teilstrategie erfolgen kann (7). Leider geht Tuffery nicht näher darauf ein, was diese mathematische Voraussetzung in entscheidungstheoretischer Hinsicht im einzelnen bedeutet. Wir werden, wie schon erwähnt, im dritten Hauptteil auf die Unabhängigkeit zurückkommen.

Durch das Optimalitätsprinzip wird jeder Entscheid über n Stufen formal zurückgeführt auf n Entscheide über je eine Stufe: Auf der Stufe n werden völlig "klassische" Einzelentscheide gefällt. Auch auf den Stufen n-1 bis 1 aber handelt es sich um Einzelentscheidungen, denn es werden ja stets nur unter den Varianten der betreffenden Stufe jene bestimmt, die, "angehängt" an eine bebereits bestehende optimale Teilstrategie, die neuen Optima ergeben. Es scheint, dass in der Entscheidungstheorie das Problem des Sequentialentscheides wegen dieser formalen Uebereinstimmung mit dem Einzelentscheid weit-

gehend als gelöst betrachtet wird. Offenbar wird stillschweigend der Analogieschluss gezogen, eine formal gleichartige Optimumbestimmung bedeute auch Gleichheit in allen materiellen Aspekten der Entscheidfindung. Dies würde erklären, weshalb die meisten Autoren den Sequentialentscheid etwa folgendermassen behandeln: mittels Entscheidungsbaumtechnik wird ein mit konkreten Grössen versehenes, mehrstufiges Problem dargestellt; an diesem wird sodann das Rollback-Verfahren durchgespielt, kaum je aber verallgemeinert, auf das Optimalitätsprinzip zurückgeführt oder gar diskutiert. Oefters werden auch zwei Probleme behandelt, eines bei Sicherheit, das andere bei Unsicherheit. Das letztere pflegt die allgemeine Form des Beispiels in Abbildung 5 aufzuweisen, wobei nicht präzisiert wird, ob stochastische Unsicherheit oder Quasisicherheit vorliegt. Entscheidungsregel ist, wie jeweils aus der Problembehandlung hervorgeht, die Maximierung des Erwartungswertes der Konsequenzen. Es wird somit unterstellt, dass die Bestimmung der Ziele des Aktors, die Aufstellung der Strategievarianten und die Ermittlung ihrer Konsequenzen, sowie die Bewertung der letzteren in analoger Weise erfolgt wie beim Einzelentscheid und keine besonderen Schwierigkeiten mit sich bringt. Ob neben der Maximierung oder Minimierung der Konsequenzen, beziehungsweise ihres Erwartungswertes auch die übrigen, aus der Theorie des rationalen Einzelentscheides bekannten Entscheidregeln anwendbar sind, ob der Fall der rationalen Indeterminiertheit ebenfalls auftritt, bleibt offen. Aus der geschilderten Behandlungsweise des Sequentialentscheides muss schliesslich auch entnommen werden, dass bei diesem keine zusätzlichen Gesichtspunkte (neben den bereits beim Einzelentscheid massgebenden) zu berücksichtigen sind. Bereits in Kapitel 2.2 haben sich indessen einige Sonderprobleme gezeigt, so die Frage der Länge der Planperioden, die Notwendigkeit zusätzlicher Informationen bei der Durchführung von Eventualplänen, das Problem der Anpassung an unerwartete Entwicklungen, etc. Leider befassen sich nur sehr wenige Entscheidungstheoretiker zumindest mit einzelnen der genannten Unterstellungen. Dass dabei öfters deren Unzulässigkeit nachgewiesen wurde, ist bisher kaum zur Kennt-

nis genommen worden; jedenfalls hat es nicht zu einer entsprechend erweiterten und systematisierten Theorie des Sequentialentscheides geführt. Etwas günstiger stehen in dieser Beziehung die Dinge im Bereiche des Operations Research; wir werden deshalb entsprechende Beiträge aus beiden Wissenschaftsgebieten zusammenfassend im dritten Hauptteil besprechen.

23.2 Ansätze in der Spieltheorie im besonderen

Von vielen wird sie als die genialste neuere Entwicklung innerhalb der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften überhaupt gefeiert, von anderen als vollkommen unbrauchbar bezeichnet: selten wohl gehen die Urteile über denselben Gegenstand dermassen auseinander wie im Falle der Spieltheorie. Hier ist nicht der Ort, auf Einzelheiten der entsprechenden Diskussion einzutreten. Insgesamt halten wir vor allem die beiden folgenden Punkte für wesentlich: Einerseits gelingt es tatsächlich nur in seltenen Ausnahmefällen, das günstigste Verhalten in der Praxis mit spieltheoretischen Verfahren zu bestimmen (8). Andererseits ist es zweifellos dennoch wertvoll für den Aktor, wenn ihn die Spieltheorie auf Gesichtspunkte aufmerksam macht, die bei vielen Entscheidungen eigentlich eine wesentliche Rolle spielen sollten (9). Freilich bleibt es ihm vorderhand weitgehend selbst überlassen, einen Weg zur systematischen Verwertung dieser Erkenntnisse in seinem konkreten Entscheidungsproblem zu finden. Mit diesen Bemerkungen sei auch unser Gesamturteil über die Ansätze zur Behandlung mehrstufiger Spiele vorweggenommen, mit denen wir uns im folgenden befassen.

In der Regel wird in spieltheoretischen Veröffentlichungen davon ausgegangen, dass mehrstufige Probleme bereits in der sogenannten N o r m a l f o r m oder Matrixform vorliegen. Das bedeutet, dass die den verschiedenen Spielern offenstehenden Strategien ebenso vorliegen wie die Nutzenwerte, die sich bei jeder möglichen Strategienkombination für jeden beteiligten Spieler ergeben

würden (10). Damit aber unterscheidet sich die Wahl der günstigsten Strategie nicht mehr grundsätzlich von der Wahl des günstigsten Zuges in einem einstufigen Spiel; die Sonderprobleme auf den vorgelagerten Stufen der Entscheidfindung sind ausgeklammert worden, was etwa Schelling zu Recht als zwar elegant, aber unfruchtbar bezeichnet (11). Rufus Isaacs weist ferner auf das Grössenproblem hin: Schon die Darstellung aller Strategien eines einfachen mehrstufigen Gesellschaftsspiels (Tic-Tac-Toe) in Normalform würde eine Matrix mit mehr als 10^{300} Zeilen erfordern (12)! Dass eine Darstellung in Spielbaumform (auch extensive Form genannt) noch wesentlich mehr Platz beanspruchen würde, fällt bei solchen Grössenordnungen natürlich längst nicht mehr ins Gewicht. Isaacs gelangt zum Schluss, dass eine praktische Lösung von Spielen mit zahlreichen aufeinanderfolgenden Zügen ausgeschlossen sei, wenn diese nicht einen logischen inneren Aufbau aufweisen, welcher sie der Behandlung mit entsprechend leistungsfähigen mathematischen Optimierungsverfahren zugänglich mache (12). In seinem zitierten Werk beschäftigt er sich mit D i f f e r e n t i a l s p i e l e n , bei denen sich die aufeinanderfolgenden Spielstufen mittels Rekursionsbeziehungen, Differentialgleichungen, etc. auseinander ableiten lassen. Je nachdem, ob die im Spiel vorkommenden Grössen kontinuierlich oder diskret definiert sind, kann dann die Anwendung von Verfahren der Analysis oder von Methoden wie der dynamischen Programmierung in Betracht gezogen werden.

Isaacs' Schluss hinsichtlich der praktischen Lösbarkeit von grösseren mehrstufigen Spielen ist offenkundig richtig. Es dürfte sich jedoch um einen ausgesprochenen Glücksfall handeln, sollte sich ein betriebswirtschaftliches Problem in die strenge mathematische Form eines Differentialspiels fassen lassen. Das zeigen schon die Beispiele von Differentialspielen, die in der Literatur behandelt werden. Bei Isaacs sind es Verfolgungsspiele und militärische Kampfmodelle. Zur Veranschaulichung kann das Bunker Hill Kampfmodell dienen. Bei diesem nähern sich zwei gegnerische Truppenkörper mit beschränkten Munitionsvorräten und bekannter Bewaffnung einander mit festgelegter Ge-

schwindigkeit. Die Frage stellt sich, wann der eigene Verband das Feuer eröffnen und welche Feuerraten er in den folgenden Zeitpunkten anwenden solle. Das Grundproblem besteht darin, dass einerseits die Trefferwahrscheinlichkeit im Laufe der Zeit zunimmt (wegen der abnehmenden Entfernung vom Gegner), zu frühes Schiessen somit eine Vergeudung von Munition darstellt, dass aber andererseits ein Zuwarten zu allzu hohen Verlusten unter den eigenen Truppen führen kann, wobei diese Verluste von der Strategie des Gegners mitbestimmt werden (13). Die Schilderung lässt deutlich erkennen, dass hier die möglichen Spielverläufe und ihre Konsequenzen mit einigen wenigen Kenngrössen mathematisch erfasst werden können: Die Aufrechterhaltung einer bestimmten Feuerintensität über eine bestimmte Zeit lässt die Munitionsvorräte und damit auch die verbleibenden Verhaltensvarianten in genau berechenbarer Weise schrumpfen; aus der bekannten Trefferwahrscheinlichkeit lässt sich der "Erfolg" des Feuers ableiten, usw. Es ist aber ebenfalls leicht erkennbar, dass das Problem rasch unlösbar kompliziert wird, wenn Geländedeckungen, Ausweichbewegungen und weitere Gegebenheiten von Kampfsituationen der Wirklichkeit mitberücksichtigt werden sollten. Sehr viel mehr Variablen spielen normalerweise in betriebswirtschaftlichen Problemen eine Rolle und ihre Entwicklung im Zeitablauf lässt sich selten in Funktionsgleichungen ausdrücken. Differentialspiele stellen unserer Ansicht nach bisher den einzigen Ansatz dar, mit dem sich mehrstufige Spiele von annähernd realistischer Grössenordnung in den Griff bekommen lassen; eine geglückte Anwendung auf ein betriebswirtschaftliches Problem in der Praxis ist uns jedoch nicht bekannt. Die noch zu streifenden weiteren spieltheoretischen Ansätze können, ihres bescheidenen Entwicklungsstandes wegen, vorläufig nur als Hinweise auf Sonderprobleme des Sequentialentscheids angesprochen werden.

Recht stark beachtet wird bei mehrstufigen Spielen das Problem u n v o l l s t ä n d i g e r I n f o r m a t i o n e n über den bisherigen Spielverlauf. Die Erscheinung, dass ein Aktor im Zeitpunkt seines Entscheides nicht weiss, welchen Zug ein Gegenspieler zuvor gewählt hat, ist auch in betriebswirtschaft-

lichen Zusammenhängen zu beobachten. So tritt häufig der Fall auf, dass sich mehrere Konkurrenten um denselben Auftrag eines bestimmten Kunden bewerben und sich bei diesem gegenseitig die Klinke reichen. Der Aktor wird beim Käufer nicht immer in Erfahrung bringen können, welcher Argumente sich seine Vorgänger bedient haben. Setzt er dann auf die falsche Karte, so kann ihn dies den Auftrag kosten. Diese Schwierigkeit kann sich nicht nur bei mehrstufigen strategischen Spielen ergeben, sondern auch in einstufigen Fällen, in denen die Spieler ihre Entscheide nacheinander festlegen und dem Aktor nicht der erste Zug obliegt (14). Ein nützlicher Begriff, mit dem sich die Informationslage eines Spielers vor allem in der Baum-Darstellung gut veranschaulichen lässt, ist derjenige des I n f o r m a t i o n s b e z i r k s (15). Der Informationsbezirk ist gleichbedeutend mit jener Menge einander gegenseitig ausschliessender Informationen, von der ein Spieler weiss, dass sich die allein zutreffende Angabe darunter befindet. In Abbildung 6 ist der angenommene Informationsbezirk des zweiten Spielers durch ein Rechteck gekennzeichnet. Er umfasst dessen Entscheidungsknotenpunkte 2 und 3. Dieser Spieler weiss somit nur, dass der erste Spieler seinen Zug ausgeführt hat, nicht aber, ob dieser Variante v_1 oder v_2 gewählt hat. Bei einem genauen Wissen würde der Informationsbezirk des zweiten Spielers jeden der beiden Knotenpunkte 2 und 3 einzeln umranden. Aus Abbildung 6 lässt sich ferner erkennen, dass der zweite Spieler den Zug des ersten dann nicht mitgeteilt zu erhalten brauchte, wenn ihm in den Entscheidungsknotenpunkten 2 und 3 verschiedene Verhaltensvarianten offenstünden; er könnte diesen Zug dann aus seinen eigenen Möglichkeiten ableiten (16).

Unvollständige Information über den Spielverlauf bedeutet an sich noch keinen Verstoss gegen die Grundvoraussetzungen der Spieltheorie (17). Verlangt wird aber, dass jedem Spieler von Anfang an bekannt ist, welche Informationen ihm und allen anderen Spielern zugänglich, beziehungsweise nicht zugänglich sein werden.

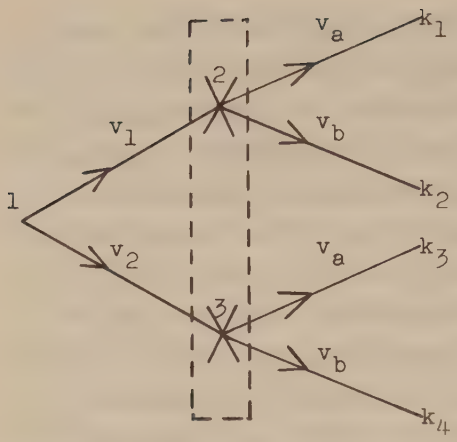

Abbildung 6: Informationsbezirk eines Spielers

In einer Kritik an der Theorie der n-Personen-Spiele bemängeln Luce und Raiffa unter anderem deren statischen Charakter, das heisst, die Nichtberücksichtigung möglicher zukünftiger Entwicklungen. Sie weisen namentlich darauf hin, dass die Spieler im Verlaufe eines mehrstufigen oder mehrerer einstufiger Spiele einen Lernprozess durchmachen und ihre Spielweise verbessern können; dass die Präferenzen, wie sie im Zeitpunkt der Strategiewahl bestehen, bis zur vollständigen Durchführung der Lösung nicht gleich zu bleiben brauchen; schliesslich könnten sich auch die möglichen Verhaltensweisen durch Forschung und technische Entwicklung im Zeitablaufe verändern. Die beiden Autoren glauben jedoch - wohl zu Recht -, dass sich viele dynamische Faktoren auch im Rahmen einer statischen Theorie berücksichtigen liessen (18). Das heisst: Möglichkeiten wie Lernvorgänge, Präferenzverschiebungen und Veränderungen des Strategienraumes könnten schon vor ihrer Verwirklichung in die Entscheidung einbezogen werden.

Leider ist seit jener Kritik von Luce und Raiffa die Entwicklung in der angedeuteten Richtung kaum fortgeschritten; erwähnenswert sind hier nur erste Ergebnisse der d y n a m i s c h e n S p i e l t h e o r i e . Als deren Auf-

gabe wurde unter anderem das Erkennen der von einem anderen Spieler gewählten Strategie aus den ersten Zügen, beziehungsweise der von ihm bevorzugten Strategien aus mehreren gespielten Parteien bezeichnet (19). Ansätze dazu sind etwa bei Schelling erkennbar, der darauf aufmerksam macht, dass ein erheblicher Teil der menschlichen Verhaltensweisen nach bekannten Schemata abläuft. Das mache es möglich, im Sinne der Gestaltpsychologie von einem kleinen Teil auf das Ganze zu schliessen. Ohne dass zu verbalen Drohungen gegriffen werden müsse, könne so beispielsweise einem Gegner durch gewisse Reaktionen deutlich genug zu verstehen gegeben werden, womit er zu rechnen habe, falls er mit seinen aggressiven Handlungen fortfahre (20). Unseres Erachtens dürften allerdings die Interessen in den meisten Spielproblemen anders gelagert sein, als im letzten Beispiel: Es dürfte für die Spieler in der Regel vorteilhafter sein, wenn es den anderen möglichst lange nicht gelingt, die gewählte Strategie zu erkennen (21). Unter diesem Gesichtspunkt werden es die Spieler tunlichst vermeiden, "Standard"-Strategien anzuwenden oder zumindest versuchen, diese Tatsache durch Täuschungsmanöver, Geheimhaltungsmassnahmen, usw. zu verschleiern. "Gestaltpsychologische" Erkennungsmethoden werden dann häufig nicht mehr zum Ziele führen. Es sind allerdings Fälle denkbar, in denen aus technischen oder anderen Gründen von allen an sich offenen Verhaltenssequenzen nur einige wenige tatsächlich in Frage kommen, welche die anderen dominieren. Die Wahrscheinlichkeit des Erkennens ist dann natürlich wesentlich höher, als es nach der Gesamtzahl der Strategien zunächst den Anschein machen könnte. Als Beispiel lassen sich die verschiedenen möglichen Eröffnungen im Schach anführen. Die nicht überaus zahlreichen erfolgversprechenden Strategien sind hier von der Theorie gründlich herausgearbeitet, klassiert und kommentiert worden (22). Ein Spieler merkt es deshalb rasch, wenn sein Gegner bei der Russischen Verteidigung oder beim Lettischen Gambit Zuflucht sucht, und er kennt die Varianten, die sich in der eingeschlagenen Richtung allenfalls noch anbieten. In betriebswirtschaftlichem Zusammenhange könnten etwa die eingebürgerten Vorgehensweisen bei der Erprobung

und Markteinführung neuer Produkte mit den Standard-Eröffnungen im Schachspiel verglichen werden. Kühn macht denn auch auf die Gefahr aufmerksam, mit Testmarktuntersuchungen die Konkurrenten zu warnen (23). Es ist überdies interessant, dass die Geheimhaltung der gewählten Strategie oftmals auch bei mehrmaliger Durchführung desselben einstufigen Spiels von Bedeutung ist. Stimmt nämlich in einem Zwei-Personen-Nullsummenspiel der Wert der Minimax-Strategie für den einen Spieler nicht mit dem Minimax-Wert für den anderen Spieler überein, so muss die Folge aufeinanderfolgender einzelner Spiele als ein sogenanntes "Superspiel" betrachtet und hierfür die optimale gemischte Strategie ermittelt werden. Bei einer gemischten Strategie legt der Spieler bekanntlich eine Wahrscheinlichkeitsverteilung fest, nach der ein Zufallsgenerator von Spiel zu Spiel die Wahl zwischen bestimmten reinen Strategien trifft. Durch die Zufallsauswahl soll ein Lerneffekt beim Gegenspieler verhindert werden (24). Hier wird deutlich, dass Probleme, welche Züge eines strategischen Spiels aufweisen, noch wesentlich seltener durch Einzelentscheide gelöst werden können als Fälle von reinen Spielen gegen die Natur, denn die letztere verfügt ja über keine Lernfähigkeit.

Anmerkungen zu den Kapiteln 23.1 und 23.2

1 Siehe namentlich:

Magee, J.F.: Decision Trees for Decision Making; in: Harvard Business Review, Juli-August 1964; S. 127 f.

Magee ist im übrigen nicht etwa der Erfinder der Entscheidungsbaumdarstellung. Herbert Simon führt diese wenigstens auf das Jahr 1893 zurück. Zu ihren frühesten Anwendern in entscheidungs- und spieltheoretischen Zusammenhängen dürften Schlaifer, sowie Luce und Raiffa gehören.

Luce, R.D. und Raiffa, H., op.cit. (1957).

Schlaifer, R.: Probability and Statistics for Business Decisions; New York, Toronto, London 1959.

Simon, H.A., op.cit. (1957); S. xxvii.

2 Zum Beispiel von Hax, Hax und Laux, sowie von Raiffa:

Hax, H., op.cit. (1974); S. 86.

Hax, H. und Laux, H., op.cit. (1972 a); S. 328.

Raiffa, H., op.cit. (1968); S. 23.

Das Optimalitätsprinzip von Bellman besagt, vereinfacht ausgedrückt:

Stellt die Variantenkette $v_1^*, v_2^*, v_3^*, \ldots, v_n^*$ eine optimale Verhaltenssequenz über n Stufen dar, so bildet die Kette $v_2^*, v_3^*, \ldots, v_n^*$ eine optimale Sequenz über n-1 Stufen, wenn vom Zustand der Variante v_1^* angenommen wurde.

Man kann daraus schliessen, dass die letzte Komponente, v_n^*, der optimalen Gesamtsequenz für sich allein gesehen ebenfalls eine optimale "Sequenz" darstellt, und zwar über eine einzige (die letzte) Stufe, vorausgesetzt, dass auf der zweitletzten Stufe vom selben Zustand ausgegangen wird wie bei der optimalen Gesamtsequenz. Dadurch aber ergibt sich umgekehrt die Möglichkeit, die optimale Gesamtsequenz über n Stufen nach und nach aus den optimalen Sequenzen über die letzte, die beiden letzten, die drei letzten Stufen, usw., aufzubauen.

Vgl.: Bellman, R.: Dynamic Programming; Princeton 1957; S. 83.

Eine eingehende Erläuterung des Prinzips findet sich bei Kaufmann, sowie bei Kaufmann und Cruon:

Kaufmann, A., op.cit. (1968); S. 181, sowie S. 174 ff.

Kaufmann, A. und Cruon, R.: La programmation dynamique; Paris 1965; S. 1 f., S. 17 f., S. 66 und S. 119.

3 Wäre im Beispiel von Abbildung 5 der Stufe 1 noch eine Stufe 0 vorgelagert, so müsste für die Ermittlung des optimalen Verhaltens über drei Stufen unter günstigen Umständen nunmehr lediglich der Gesamtwert des Optimums über zwei Stufen festgehalten werden. Letzterer ergäbe, zusammen mit dem Wert des auf Stufe 0 möglichen Verhaltens, den Gesamtwert über drei Stufen.

4 Siehe zu diesem Politik-Begriff beispielsweise:

Müller, W.: Grundzüge einer Lehre von der Unternehmungspolitik; in: Die Unternehmung, Nr. 1, 1967; S. 3 ff.

5 Fishburn, P.C.: Decision and Value Theory; New York, London, Sidney 1964; S. 23.

6 Vgl. namentlich:

Hax, H. und Laux, H., op.cit. (1972 a); S. 319 ff.

7 Tuffery, A.: Recherche du meilleur plan d'investissement - Méthode de l'arbre de décision; in: Hommes et techniques, Nr. 301, November 1969; S. 4.

8 Das ist nicht weiter erstaunlich, wenn man sich die Annahmen der Spieltheorie vergegenwärtigt, wie sie etwa von Luce und Raiffa zusammengefasst werden.

Luce, R.D. und Raiffa, H., op.cit. (1957); S. 54 f.

Besonders einschränkend erscheint uns dabei die meist nicht beachtete Voraussetzung, dass jeder Spieler weiss, welchen Nutzen die anderen Spieler jedem möglichen Ergebnis beimessen.

9 Siehe auch Miller, D.W. und Starr, M.K., op.cit. (1969); S. 437 und S. 554 f.

10 Luce, R.D. und Raiffa, H., op.cit. (1957); S. 53 ff.

Morgenstern, O.: Die Theorie der Spiele und des wirtschaftlichen

Verhaltens; in: Morgenstern, O., op.cit. (1963); S. 84.

Shubik, M.: Spieltheorie und die Untersuchung des sozialen Verhaltens: Eine einführende Darstellung; in: Shubik, M., op.cit. (1965); S. 29.

11 Schelling, T.C.: The Strategy of Conflict; New York 1963; S. 156.

12 Isaacs, R.: Differential Games; New York 1965; S. 307.

13 Isaacs, R., op.cit. (1965); S. 309 und 316 ff.

Die Bezeichnung "Bunker Hill Modell" leitet sich übrigens von der Schlacht von Bunker Hill ab, in der nach historischer Ueberlieferung General Warren dasselbe Grundproblem mit dem Befehl gelöst haben soll: "Schiesst nicht bevor ihr das Weisse in des Gegners Augen erkennen könnt."

14 Als "einstufig" oder "mehrstufig" klassieren wir auch spieltheoretische Entscheidungen allein aus der Sicht des Aktors, nicht etwa auf Grund der von allen Spielern insgesamt zu fällenden Entscheide.

15 Siehe etwa:

Kaufmann, A.: Méthodes et Modèles de la Recherche Opérationelle; Band II; Paris 1964; S. 244 f.

Shubik, M., op.cit. (1965); S. 30 ff.

16 Luce, R.D. und Raiffa, H., op.cit. (1957); S. 43.

17 Vgl. hierzu wiederum die Annahmen der Spieltheorie in der Formulierung von Luce und Raiffa gemäss Anmerkung 8.

18 Luce, R.D. und Raiffa, H., op.cit. (1957); S. 163 f.

19 Behnke, H. und Tietz, H. (Hrsg.): Mathematik; Band II; Frankfurt/Main 1966; S. 315.

20 Schelling, T.C., op.cit. (1963); S. 93 ff., insbesondere S. 107.

21 Geht man von der spieltheoretischen Voraussetzung aus, dass jedem Spieler die den anderen offenstehenden Strategien bekannt sind, so steigt grundsätzlich die Wahrscheinlichkeit der Erkennung mit zunehmender Spieldauer (vorausgesetzt natürlich, die Spieler erhalten laufend Kenntnis von den Zügen der anderen): die Anzahl der Strategien, deren erste Züge identisch sind und die sich erst in der Fortsetzung voneinander unterscheiden, nimmt ständig ab.

22 Für eine Uebersicht siehe etwa:

Euwe, M.: Schach von A bis Z; Berlin 1966; S. 156 ff.

23 Kühn, R., op.cit. (1969); S. 262.

24 Vgl. zum Beispiel:

Hadley, G., op.cit. (1969); S. 554 f.

Morgenstern, O., op.cit. (1963); S. 86 f.

Sasieni, M., Yaspan, A. und Friedman, L.: Methoden und Probleme der Unternehmensforschung; Würzburg 1962; S. 165 ff.

2.4. Verfahren zur Behandlung spezieller Entscheidsequenzenprobleme

24.1 Vorbemerkungen

Es ist das Ziel von Entscheidungs- und Spieltheorie, Grundverfahren bereitzustellen, mit denen sich in jedem Falle ein rationaler Entscheid treffen lässt. Die beiden vorangehenden Kapitel haben gezeigt, dass dieses Ziel für sequentielle Probleme bisher bei weitem noch nicht erreicht werden konnte. Baumtechnik und Normalform eignen sich nur beschränkt zur Problemdarstellung. Mit Rollback-Analyse und Differentialspielen lässt sich der Lösungsaufwand, der leicht enorme Ausmasse annehmen kann, nur unter bestimmten Voraussetzungen verringern. Offensichtlich bestehende Sonderprobleme gegenüber dem Einzelentscheid werden bestenfalls gestreift. Die in Abschnitt 2.4 nun zu behandelnden Ansätze erheben von vornherein nicht den Anspruch universeller Anwendbarkeit. Sie befassen sich vielmehr mit sequentiellen Entscheidungsproblemen, welche eine mehr oder weniger spezielle Struktur aufweisen, oder sie greifen einzelne Aspekte des Entscheidfindungsprozesses heraus. Da sie in der Regel nicht mit Blick auf eine allgemeine Theorie des Sequentialentscheides entwickelt wurden, ist ihre diesbezügliche Besonderheit oder Lückenhaftigkeit nicht immer offenkundig. Sie aufzuzeigen, ist deshalb eine wichtige Aufgabe unserer Besprechungen. Es wird sich dabei erweisen, dass einzelne dieser Ansätze trotz ihres partiellen Charakters viel zur Lösung sequentieller Probleme beizutragen vermögen. Ab und zu finden sich in der Literatur freilich auch Beiträge, die auf derart speziellen Annahmen aufbauen, dass sie für einen breiteren Leserkreis kaum mehr von Nutzen sind. Wir denken dabei etwa an Operations-Research-Modelle, die eigens zur Lösung eines konkreten Entscheidfalles entwickelt wurden. Auf solche Ansätze kann hier nicht eingetreten werden.

24.2 Die statistische Entscheidungstheorie

Macht man eine bestimmte Beobachtung B und will man berechnen, wie hoch in Anbetracht dieser Tatsache die Wahrscheinlichkeit dafür ist, dass eine bestimmte Hypothese H zutrifft, so kann man sich dazu unter gewissen Bedingungen des Theorems von Bayes bedienen. Voraussetzung ist einerseits, dass man über einen a priori Wert p(H) verfügt, das heisst also, über eine Angabe, für wie wahrscheinlich die Hypothese H gehalten wurde, bevor die Beobachtung B gemacht wurde. Ausserdem muss man die relative Häufigkeit $p(B|H)$ kennen, mit der die Beobachtung B zu machen ist, falls Hypothese H zutrifft. Schliesslich benötigt man p(B), die Wahrscheinlichkeit schlechthin, die Beobachtung B zu machen. Aus diesen drei Grössen ergibt sich die a posteriori Wahrscheinlichkeit $p(H|B)$. Diese kann als neue a priori Wahrscheinlichkeit p(H) angesehen werden und der Prozess lässt sich mit einer weiteren Beobachtung fortsetzen. Bleiben die Grundzusammenhänge bestehen, so nähert sich mit einer zunehmenden Anzahl von Beobachtungen die laufend neu berechnete a posteriori Wahrscheinlichkeit allmählich der objektiven Wahrscheinlichkeit. Man kann somit von einem Wahrscheinlichkeits-Lernen sprechen (1).

Auf dem Theorem von Bayes baut die vor allem von Abraham Wald entwickelte Sequentialanalyse auf. Hier geht es um die Frage, ob eine Hypothese H anzunehmen oder zu verwerfen ist. Zu ihrer Beantwortung wird nach herkömmlicher Methodik eine Stichprobe des erforderlichen Umfanges n erhoben und die entsprechenden Beobachtungen werden zusammen ausgewertet. Bei einem Sequenztest dagegen werden einzelne Beobachtungen nacheinander gemacht und unter Zuhilfenahme der Bayesschen Formel jedesmal unverzüglich ausgewertet. Das Ergebnis jeder Auswertung lautet entweder "die Hypothese kann als gesichert gelten" oder "die Hypothese ist abzulehnen" oder aber "die bisherigen Beobachtungen reichen für ein endgültiges Urteil nicht aus; es ist deshalb eine weitere Beobachtung zu machen". Ob eine Hypothese nach einer Anzahl m von bereits gemachten Beobachtungen angenommen oder

verworfen werden kann, hängt vom Anteil derjenigen Beobachtungen ab, die sie stützen, beziehungsweise derjenigen, die ihr widersprechen; ferner sind dafür die vom Aktor festgelegten, subjektiven Fehlergrenzen α und β massgebend. Die letztern geben die höchstzulässigen Wahrscheinlichkeiten für Fehlurteile der Typen I und II an, das heisst, für die Möglichkeiten, die Hypothese fälschlicherweise zu verwerfen oder anzunehmen. Der Aktor handelt somit auch bei einem Sequentialtest nach einer Strategie; eine Besonderheit liegt darin, dass diese die Verhaltensanweisungen für jeden möglichen Fall sozusagen nur implizit enthält, indem sie in einer Berechnungsregel besteht, mit der sich für jedes zusätzliche Beobachtungsergebnis der darauffolgende Stufenentscheid fällen lässt. Da die Beobachtungsergebnisse natürlich nicht mit Sicherheit vorausgesagt werden können, ist die Länge der sich schliesslich ergebenden Beobachtungssequenz ebenfalls nicht von vornherein bestimmt, sondern hängt vom Zufall ab. Man bezeichnet die Sequentialanalyse deshalb auch als eine Stichprobe mit variablem Umfang. Ihr Vorteil besteht darin, dass die Anzahl der tatsächlich benötigten Beobachtungen meist ganz erheblich unter derjenigen liegt, welche eine entsprechende fixe Stichprobe erfordern würde. Das bedeutet nicht, dass eine Sequentialanalyse einer konventionellen Stichprobe in den meisten Fällen unbedingt vorzuziehen wäre: die Kosten einer geringeren Anzahl einzeln durchzuführender Beobachtungen, die zudem jede einen neuen Berechnungsschritt verlangen, übersteigen unter Umständen diejenigen einer grösseren Menge gleichzeitig gemachter und miteinander ausgewerteter Beobachtungen. Eine konventionelle Stichprobe kann zudem weniger Zeit beanspruchen. (2)

Die Frage, ob eine bestimmte Hypothese anzunehmen sei oder nicht, kann als ein Entscheidungsproblem der Statistik bezeichnet werden. Die Sequentialanalyse beantwortet sie auf Grund einer Folge von Beobachtungen. Das Verhalten auf jeder Stufe wird durch eine "implizite" Strategie im voraus festgelegt. Dennoch liegt hier noch kein sequentielles Entscheidungsproblem in unserem Sinne vor, denn jeder Stufenentscheid wird zwar im Lichte aller bisher ge-

machten Beobachtungen, jedoch ohne Berücksichtigung allfälliger Fortsetzungen getroffen. Mit echten Sequentialentscheiden befasst sich dagegen die statistische Entscheidungstheorie, welche eine Erweiterung der Sequentialanalyse darstellt. Hierbei werden Informationen nicht mehr einfach beschafft, bis ein genügend gesichertes Wissen über einen bestimmten Tatbestand erreicht worden ist. Dies geschieht vielmehr nur solange, wie der Nutzen der Wissensverbesserung es wirtschaftlich rechtfertigt. Der Informationsentscheid wird an einen anschliessenden Zweckentscheid gekoppelt und nicht mehr für sich allein betrachtet. Er soll in der Regel das Wissen über den Umweltzustand verbessern, in welchem der letztere zur Auswirkung gelangen würde. Es ist wiederum davon auszugehen, dass der Aktor den verschiedenen möglichen Situationen bestimmte a priori Wahrscheinlichkeiten zuzuordnen vermag. Entsprechende Wahrscheinlichkeiten misst er den möglichen Ergebnissen allfälliger Informationserhebungen (den verschiedenen Beobachtungen) bei. Mit der Bayesschen Formel lassen sich daraus im voraus die hypothetischen Veränderungen der a priori Wahrscheinlichkeiten unter Annahme der verschiedenen möglichen Beobachtungsergebnisse bestimmen. Fiele auf Grund einer solchen Verschiebung der Eintreffenswahrscheinlichkeiten der als möglich erachteten Situationen der Zweckentscheid anders aus, als er nach den a priori Wahrscheinlichkeiten lauten würde, so kann der erwartete Nutzen der Beschaffung zusätzlicher Informationen wie folgt berechnet werden: Durch das verbesserte Wissen wird die Gefahr eines Fehlentscheides verringert. Zwischen der ursprünglich ins Auge gefassten und der dank der Zusatzinformation als überlegen erkannten Variante, besteht eine positive Nutzendifferenz. Da die entsprechende Zusatzinformation jedoch noch nicht vorliegt, sondern nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit erwartet wird, ist auch der mögliche Nutzenzuwachs entsprechend zu gewichten. Ausserdem sind ihm die Kosten der Gewinnung und Verarbeitung zusätzlicher Informationen gegenüberzustellen. Nach diesem Prinzip lassen sich verschiedene Varianten der Informationsbeschaffung miteinander vergleichen: Sequentialanalysen und konven-

tionelle Stichproben verschiedenen Umfanges, wobei zusätzlich nach der Art der gemachten Beobachtungen und deren Zuverlässigkeitsgrad als Indikatoren für die den Aktor interessierenden Situationsgrössen unterschieden werden kann (3). Stets offen und ebenfalls in das Kalkül einzubeziehen, ist natürlich die Möglichkeit, den Zweckentscheid ohne jegliche Zusatzinformationen zu treffen. Zu beachten ist schliesslich, dass im Falle der Wahl einer sequentiellen Informationsbeschaffungsmethode deren genaue Stufenzahl im vornherein ebensowenig feststeht, wie bei einer reinen Sequentialanalyse. Für die Entscheidfällung wird auf Erwartungswerte abgestellt. Zu deren Ermittlung müssen die möglichen Verläufe der Informationssammelprozesse explizit simuliert werden; es können hier, mit anderen Worten, nicht einfach "implizite" Strategien ohne eine Analyse ihrer möglichen Konsequenzen aufgestellt werden. (4)

Die Zusammenfassung von Informations- und Zweckentscheid in einem sequentiellen Gesamtmodell durch die statistische Entscheidungstheorie ist zweifellos als ein bedeutender Fortschritt zu werten. Als "rational" gilt ja gemeinhin immer noch eine Informationsbeschaffung nach dem folgenden Muster: Der Aktor hat zunächst festzustellen, ob der Zweckentscheid mit den bereits vorhandenen Informationen getroffen werden kann. Ist dies nicht der Fall, so sind die noch fehlenden Daten nach Möglichkeit gezielt zu beschaffen; allenfalls sind dabei noch Verfahrensentscheide zu treffen. Wie wir schon in Kapitel 11.2 bemerkten, ist diese Zweckausrichtung bei der Erfassung betriebswirtschaftlicher Daten durch die Theorie des rationalen Einzelentscheides gefördert worden und gegenüber dem früher oftmals anzutreffenden "Sammeln als Selbstzweck" durchaus zu begrüssen. Solchen abgeleiteten Informationsentscheiden sind jedoch sequentielle Gesamtlösungen nach der Art der statistischen Entscheidungstheorie grundsätzlich noch vorzuziehen, denn nur auf diese Weise lassen sich gegenseitige Abhängigkeiten zwischen Informations- und Zweckentscheiden in einem optimalen Gesamtentscheid berücksichtigen. Es fragt sich aber, ob und wie weit das Modell der statistischen Entscheidungstheorie praktisch anwendbar ist und theoretisch zu befriedigen vermag.

Die praktische Anwendbarkeit hängt vor allem davon ab, ob der Aktor in der Lage ist, a priori Wahrscheinlichkeiten für die verschiedenen möglichen Umweltszustände, sowie relative Häufigkeiten oder Wahrscheinlichkeiten für die zu erwartenden Beobachtungsergebnisse anzugeben. A priori Wahrscheinlichkeiten sind zwangsläufig subjektive Wahrscheinlichkeiten (5). Ist der Aktor ein ausgesprochener Subjektivist, so wird er in nahezu allen Fällen zu einem Wahrscheinlichkeitsurteil fähig sein (siehe auch Kapitel 11.3). Wo er mit dem besten Willen hinsichtlich der verschiedenen Situationen keine unterschiedlichen Glaubwürdigkeits- oder Gewissheitsgrade verspürt, kann er immer noch zum Laplace-Kriterium Zuflucht nehmen und gleiche Wahrscheinlichkeiten annehmen (6). Dagegen dürfte ihm die Beurteilung der Beobachtungswahrscheinlichkeiten oftmals sehr viel schwerer fallen, ja unmöglich sein. In den von der Literatur behandelten Beispielen ist sie jeweils nur deshalb unproblematisch, weil die zahlenmässigen Relationen der bei den verschiedenen Situationshypothesen möglichen Beobachtungsergebnisse von vornherein bekannt sind, und die Beobachtungen unter anderen Umständen nicht auftreten können. Wenn also Kaufmann beispielsweise davon ausgeht, dass sich die Nachfrage nach den beiden Produkten p_1 und p_2 entweder nach dem Verhältnis 80 : 40 (Hypothese h_1) oder aber 40 : 80 (Hypothese h_2) zusammensetzt, so lassen sich die Wahrscheinlichkeiten, bei der Befragung eines Käufers auf einen solchen von Produkt p_1 oder aber auf einen Liebhaber von Produkt p_2 zu stossen, leicht ermitteln (7). Im Falle des ersten Produkts beträgt $p(p_1 | h_1)$ $0,\overline{66}\ldots$, $p(p_1 | h_2)$ dementsprechend $0,\overline{33}\ldots$ Werden die a priori Wahrscheinlichkeiten sowohl für Hypothese h_1 als auch für Hypothese h_2 auf 0,5 geschätzt, so errechnen sich die verbundenen Wahrscheinlichkeiten, dass sowohl Hypothese h_1, beziehungsweise h_2 zutrifft, als auch ein Käufer von p_1 vorliegt, mit:

$$p(h_1 p_1) = p(h_1) \cdot p(p_1 | h_1) = 0,5 \cdot 0,66 = 0,33$$
$$p(h_2 p_1) = p(h_2) \cdot p(p_1 | h_2) = 0,5 \cdot 0,33 = 0,165$$

Diese beiden Grössen werden lediglich zur Ermittlung der Gesamtwahrschein-

lichkeit benötigt, auf einen Käufer von Produkt p_1 zu stossen:

$$p(p_1) = p(h_1 p_1) + p(h_2 p_1) = 0,33 + 0,165 = 0,495$$

Bei den vorausgesetzten, genauen Kenntnissen über die möglichen Situationen und Beobachtungen sind somit die zur Anwendung der statistischen Entscheidungstheorie benötigten Grössen tatsächlich leicht zu bestimmen. Sehen wir uns demgegenüber ein von Krelle konstruiertes Beispiel genauer an. Der Autor geht von einer a priori Wahrscheinlichkeit $p(H) = 0,05$ dafür aus, dass es auf dem Mars Leben gebe. Die Wahrscheinlichkeit, grüne Flächen zu beobachten, wenn tatsächlich Leben auf dem Mars vorhanden sei, setzt er mit $p(g \mid H) = 0,5$ an, die Wahrscheinlichkeit, unter irgendwelchen Bedingungen grüne Flächen zu entdecken, mit $p(g) = 0,1$. Nach dem Bayesschen Theorem ergibt sich daraus die a posteriori Wahrscheinlichkeit, dass der Mars wirklich belebt ist, falls man grüne Flächen entdeckt hat, wie folgt:

$$p(H \mid g) = p(H) \cdot \frac{p(g \mid H)}{p(g)} = 0,05 \cdot \frac{0,5}{0,1} = 0,25 \qquad (8)$$

Dass sowohl Fachleute als auch Laien ihrer Ueberzeugung oder ihrem Zweifel hinsichtlich der Richtigkeit einer Hypothese mit einem subjektiven Wahrscheinlichkeitsurteil Ausdruck zu verleihen vermögen, erscheint, wir haben es erwähnt, als eine in der Regel berechtigte Annahme. Ist ihr Urteil schlecht, so hat das "lediglich" zur Folge, dass mehr Beobachtungen nötig sind, bis sich die a posteriori Wahrscheinlichkeit der objektiven Wahrscheinlichkeit bis auf eine definierte Entfernung angenähert hat. Damit dieser kürzere oder längere Lernprozess richtig verläuft, müssen jedoch die Wahrscheinlichkeiten, die sich auf die Beobachtungsergebnisse beziehen, möglichst genau zutreffen. Es dürfte aber nicht allein im Mars-Beispiel grosse Mühe bereiten, zuverlässige bedingte und unbedingte Wahrscheinlichkeiten für die Beobachtung grüner Flecken anzugeben; vielmehr ist leicht einzusehen, dass die Beschaffung der entsprechenden Daten in vielen betriebswirtschaftlichen Informationsproblemen nicht möglich

sein wird. Es darf wohl auch ohne eine entsprechende empirische Untersuchung die weitergehende Behauptung gewagt werden, dass eine Lage von der Art, wie sie Kaufmann beschreibt und wie sie für die in der Literatur behandelten Beispiele typisch ist, in der Praxis die Ausnahme, der Krellesche Problemtyp dagegen die Regel darstellt. Damit aber ist die praktische Anwendbarkeit der statistischen Entscheidungstheorie bereits stark eingeschränkt.

Eine weitere Beschränkung der Anwendbarkeit ergibt sich von seiten der Grösse der zu behandelnden Probleme. Wir haben diesen Aspekt schon in den beiden vorangehenden Kapiteln gestreift. Es sei deshalb hier nur darauf hingewiesen, dass sich diese Schwierigkeiten ceteris paribus verschärfen, wenn man einem sequentiellen Zweckentscheidproblem noch Varianten der Informationsbeschaffung voranstellt. Graphisch gesehen bedeutet dies nichts anderes, als dass man nun über einen zusätzlichen Informationsentscheidbaum verfügt. An jeden einzelnen von dessen Endknoten ist der ganze Zweckentscheidbaum "angehängt", der jedesmal dasselbe Aussehen aufweist, mit Ausnahme der Wahrscheinlichkeiten, welche entsprechend dem vorgelagerten, hypothetischen Informationsergebnis einzusetzen sind (9). Die Problemgrösse vervielfacht sich demnach. Das soll nicht heissen, Möglichkeiten der Informationsbeschaffung seien doch wohl besser getrennt von den entsprechenden Zweckentscheidungen zu behandeln. Nachdem die statistische Entscheidungstheorie gezeigt hat, wie sich Informationsvarianten in die üblichen Entscheidungskalküle einbauen lassen, sollte ein solcher Rückschritt nicht ohne Not erwogen werden. Das bedeutet, dass zuvor Möglichkeiten zur Bewältigung des Dimensionsproblems in Betracht zu ziehen wären. Hier hat nun freilich die statistische Entscheidungstheorie keine eigenständigen Lösungsvorschläge anzubieten. In der Literatur wird zur Darstellung (entsprechend klein gewählter) Fallbeispiele fast durchwegs die Entscheidungsbaumtechnik, zur Optimumbestimmung die Rollback-Analyse verwendet.

Ein Vorgehen, mit dem sich eine unnötige Aufblähung der Problemgrösse durch

Informationsvarianten vermeiden lässt, besteht in der vorgängigen Durchführung einer Sensibilitätsanalyse. An sich kann zwar auch das vollständige statistische Entscheidungsmodell, wie es hier skizziert wurde, als eine Sensibilitätsanalyse aufgefasst werden, wie dies Anatol Rappaport tut: es wird ja dabei geprüft, ob der Zweckentscheid bei den verschiedenen möglichen Zusatzinformationen allenfalls anders ausfallen würde, als ohne diese, und ob dabei ein positiver Netto-Nutzenzuwachs erwartet werden könnte. Nur wenn beides zutrifft, wird eine Gesamtstrategie gewählt, welche auch Informationsvarianten enthält (10). Nun lässt sich aber eine gröbere Sensibilitätsanalyse bereits am Zweckentscheidproblem allein durchführen. Man unterstellt dabei, es wäre möglich, sichere Informationen über den zu erwartenden Umweltszustand einzuholen. Wiederum wird geprüft, ob sich der Zweckentscheid ändern würde und welche Fehlentscheidkosten sich dadurch einsparen liessen. Würde der Zweckentscheid bei sicheren Informationen nicht anders ausfallen als auf Grund der schon verfügbaren Informationen, so brauchen gar nicht erst Varianten zur Beschaffung von Zusatzinformationen in Betracht gezogen zu werden. Würden hingegen bei sicherem Wissen allenfalls andere Verhaltensweisen gewählt, so sind die jeweiligen Einsparungen von Fehlentscheidkosten mit den Wahrscheinlichkeiten ihrer Realisierung zu gewichten. Bei den letzteren handelt es sich um nichts anderes als um die a priori Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen möglichen Situationen; diesen gemäss ist ja auch damit zu rechnen, dass eine sichere Information so oder anders lauten würde. Der demnach ermittelte Erwartungswert der möglichen Brutto-Kosteneinsparungen gibt dem Aktor die oberste Grenze dessen an, was er für Zusatzinformationen zu zahlen bereit sein sollte. Im nächsten Schritt hat er deshalb nur noch solche Informationsbeschaffungsvarianten zusammenzustellen, die diese Grenze einhalten. Nur diese sind dann, verbunden mit den verschiedenen Zweckentscheidvarianten, der aufwendigen Analyse nach dem Modell der statistischen Entscheidungstheorie zu unterziehen. Im Unterschied zum letzteren erfordert die skizzierte, grobe Sensibilitätsanalyse keine Festlegung von Beobachtungswahrscheinlich-

keiten, keine Abwicklungen möglicher Beobachtungsfolgen und keine Umrechnungen von a priori in a posteriori Wahrscheinlichkeiten (11).

Wenn wir uns abschliessend nun noch der Frage zuwenden, wieweit die statistische Entscheidungstheorie theoretisch zu befriedigen vermag, so fällt zunächst auf, dass das Zweckentscheidproblem in der Literatur regelmässig nur einstufig angenommen wird. Anstelle unserer Wortschöpfung "Zweckentscheid" werden dementsprechend Ausdrücke wie "Letztentscheid", "Endentscheid", "definitiver Entscheid" verwendet; in englischsprachigen Veröffentlichungen ist meist von den "terminal acts" die Rede. Diese Beschränkung wird unseres Wissens von keinem Autor begründet. Man kann allerdings feststellen, dass sich am grundsätzlichen Vorgehen im Falle mehrstufiger Zweckentscheidungen nichts ändern würde. Irreführende Bezeichnungen wie die eben erwähnten sollten jedoch zum mindesten vermieden werden. Zu beachten ist ferner, dass sich der Problembehandlungsaufwand bei mehrstufigen Zweckentscheiden nochmals vervielfachen kann; möglicherweise können nämlich besondere Zusatzinformationen für jede Zweckentscheidstufe beschafft werden, wobei diese Tätigkeiten normalerweise nicht allesamt der ersten, sondern der jeweils entsprechenden Stufe vorgelagert sein dürften. Das wiederum wird in der Praxis fast stets zu einer erheblichen weiteren Erschwerung der Aufgabe des Aktors führen, die zur Informationsbewertung nötigen Grössen zu bestimmen. Dieser muss nun ja beispielsweise bereits die Wahrscheinlichkeiten von Beobachtungsergebnissen angeben, die erst nach einer noch vor ihm liegenden, langen Folge von eigenen Aktionen und Entwicklungen in der Umwelt zu erwarten sind!

Die wichtigste theoretische Beschränkung des statistischen Entscheidungsmodells sehen wir im statischen Charakter der in Betracht gezogenen Wissensverbesserungen. Es muss klar hervorgehoben werden, dass alle auf dem Theorem von Bayes beruhenden Ansätze nur zusätzliche Informationen über ein und denselben Tatbestand auf eine systematische Weise verarbeiten. Es liegt ihnen die Annahme eines stationären Zufallsprozesses zugrunde; mit anderen Worten:

es wird davon ausgegangen, dass bestimmte Situationen während der betrachteten Zeitperiode grundsätzlich mit festen objektiven Wahrscheinlichkeiten zu erwarten sind und dass mit Beobachtungen das unvollkommene Wissen über diese Wahrscheinlichkeiten verbessert werden kann (12). Ein Zufallsprozess braucht aber durchaus nicht stationär zu sein. Er kann sich sogar derart rasch ändern, dass jede zusätzliche Beobachtung einer neuen, gerade geltenden objektiven Wahrscheinlichkeitsverteilung entspricht, womit die Entwicklung dem Aktor sozusagen "davonläuft". Diese Sachlage ist vom Aktor nicht ohne weiteres festzustellen; er wird oft längere Zeit nicht bemerken, dass die jeweils nach Bayes neu berechneten a posteriori Wahrscheinlichkeiten sich nicht einem Grenzwert nähern.

Bei der Informationsbeschaffung kann der Aktor Verfahren anwenden, die aus technischen Gründen nur zu Informationen führen können, welche die eine oder andere der a priori für möglich gehaltenen Hypothesen stützen, beziehungsweise zu stützen scheinen. Verwendet er dagegen "offene" Verfahren, so kann er noch auf andersartige Informationen stossen: Es können sich auch neue Varianten, Situationen oder Konsequenzen zeigen, an die er bisher nicht gedacht hat. Natürlich sind diese in dem von ihm gerade angewandten statistischen Entscheidmodell nicht vorgesehen; ebenso klar ist aber, dass auch derartige Informationen für den Aktor von grossem Wert sein können (13). Das bedeutet jedoch, dass der nach den Regeln der statistischen Entscheidungstheorie ex ante berechnete Wert zusätzlicher Informationsgewinnung sich ex post häufig als zu niedrig erweisen wird!

1 Erstmals veröffentlicht wurde das Theorem in:

Bayes, T.: An essay toward solving a problem in the doctrine of chance; in: Philosophical Transactions 1763, S. 376 ff. und 401 ff., sowie 1764, S. 298 ff.

Moderne Darstellungen und Kommentierungen finden sich beispielsweise bei:

Kaufmann, A., op.cit. (1968); S. 204 ff.

Krelle, W., op.cit. (1968); S. 202 f.

Weber, K.: Projektanalyse unter Verwendung des Theorems von Bayes; in: Industrielle Organisation, Nr. 7, 1967; S. 293 ff.

Yamane, T., op.cit. (1967); S. 491 ff.

2 Das Hauptwerk von Wald zur Sequentialanalyse ist:

Wald, A.: Sequential Analysis; New York, London 1947.

Für gerafftere Darstellungen der Sequentialanalyse, sowie Beurteilungen ihrer Bedeutung, vgl.:

Bross, I.D.J.: Prévision et Décisions Rationelles; Paris 1961; S. 103 ff.

Mag, W.: Sequentielle Informationsbeschaffung für unternehmerische Entscheidungen; in: ZfB 1973; S. 829 ff.

Morgenstern, O.: Abraham Wald, 1902 - 1950; in: Morgenstern, O., op.cit. (1963); S. 183 ff.

Speziell zu den Fehlertypen I und II bei Hypothesentests, siehe:

Schlaifer, R., op.cit. (1959); S. 608.

Mit den Vorteilen simultaner und sequentieller Testverfahren im allgemeinen befassen sich Dean und Marks:

Dean, B.V. und Marks, E.S.: Optimal Design of Optimization Experiments; in: Operations Research 1965; insbesondere S. 664 ff.

Die Sequentialanalyse wird vor allem zur Qualitätskontrolle in der Produktion häufig angewandt. Auf dem Markt werden bereits Tischgeräte angeboten, bei denen sich ein Stichprobenplan mit den gewünschten Parametern vorwählen lässt und die danach von jeder Hilfskraft verwendet werden können, um über die Annahme oder Ablehnung einer Fertigungsserie zu entscheiden: Für jedes geprüfte Einzelstück wird eine

"Gut"- oder eine "Schlecht"-Taste gedrückt; unverzüglich aufleuchtende Lampen geben die Anweisung, ob weiterzutesten, beziehungsweise wie die Serie definitiv zu beurteilen ist. Siehe:

N. N. : Sequenztestgerät für attributive Qualitätskontrolle; VDO Druckschrift S. 490.1, ohne Ort, März 1971.

3 Als Beispiel für diese weitere Unterscheidung können die verschiedenen, zur Auswahl stehenden Methoden der Marktforschung genannt werden. So wird etwa ein Markttest in der Regel zuverlässigeren Aufschluss über die Verkaufsaussichten für ein neues Produkt geben, als eine blosse Befragung von Versuchsperonen. Allerdings ist das erste Verfahren auch wesentlich aufwendiger als das zweite.

4 Die Grundlagen der statistischen Entscheidungstheorie wurden grösstenteils ebenfalls von Wald geschaffen:

Wald, A. : Statistical Decision Functions; New York 1950.

Für kürzere Darstellungen siehe:

Feichtinger, G. : Zur Bayes-Analyse statistischer Entscheidungsprobleme; in: ZfB 1972; S. 449 ff.

Howard, R. A. : The Used Car Buyer; Menlo Park, ohne Datum.

Kaufmann, A., op. cit. (1968); S. 191 ff.

Eine einfache Darstellung der Informationswertbestimmung nach dem Prinzip der statistischen Entscheidungstheorie findet sich bei Hayes:

Hayes, R. H. : Qualitative Insights from Quantitative Methods; in: Harvard Business Review, Juli-August 1969; S. 114 ff.

5 Handelte es sich um objektive Wahrscheinlichkeiten, so wäre ja die Beschaffung weiterer Informationen überflüssig. Objektivisten müssen deshalb das Theorem von Bayes, die Sequentialanalyse und die statistische Entscheidungstheorie ablehnen.

6 Siehe auch:

Kaufmann, A., op. cit. (1968); S. 205.

Yamane, T., op. cit. (1967); S. 493.

7 Kaufmann, A., op. cit. (1968); S. 191 ff.

Präzisiert sei an dieser Stelle, dass im ganzen Kapitel zuverlässige

Beobachtungsverfahren unterstellt werden. Wird B gemeldet (hier: p_1, bzw. p_2), dann liegt tatsächlich B vor. Die Unzuverlässigkeit vieler Beobachtungsverfahren der Praxis kann jedoch ebenfalls mit Wahrscheinlichkeitswerten ausgedrückt und mit der auf dem Bayesschen Theorem beruhenden Verfahren zusätzlich berücksichtigt werden.

8 Krelle, W., op.cit. (1968); S. 203.

9 Darauf, dass der ursprüngliche Entscheidbaum durch das Vorschalten von Informationsvarianten nur in den Wahrscheinlichkeitswerten verändert wird, weist auch Ronald Howard hin:

Howard, R.A., op.cit. (ohne Datum); S. 15.

10 Rappaport, A.: Sensitivty Analysis in Decision Making; in: Cyert, R.M. und Welsch, L.A., op.cit. (1970); S. 328 ff.

11 Siehe auch Feichtinger und North:

Feichtinger, G., op.cit. (1972); S. 462 ff.

North, D.W., op.cit. (1968); S. 209 f.

12 Vgl. beispielsweise:

Kaufmann, A., op.cit. (1964); S. 165.

13 Siehe auch:

zur Nieden, M.: Zur Anwendbarkeit von Informationswertrechnungen; in: ZfB 1972; S. 499.

24.3 Strukturierung und Lösung von Entscheidsequenzproblemen mit Hilfe der Graphentheorie

243.1 Ueberblick

Die Graphentheorie ist ein Zweig der Mathematik, insbesondere der kombinatorischen Topologie, der sich hauptsächlich mit strukturellen Beziehungen befasst. In der allgemeineren Sprache der Mengentheorie ausgedrückt, besteht ein G r a p h aus einer Menge von Elementen, sowie aus den Ordnungsbeziehungen, die zwischen diesen Elementen herrschen. Die Graphentheorie bezeichnet die Elemente als die Knoten, die Relationen als die Kanten des Graphen. Ein Graph heisst zusammenhängend, wenn von jedem seiner Knoten ein Weg zu jedem anderen Knoten führt. Ein Weg besteht aus einer oder mehreren Kanten, durch die zwei, beziehungsweise mehrere voneinander verschiedene Knoten verbunden werden. Ein Zyklus ist ein Weg, der wieder zu seinem Ausgangspunkt zurückführt, das heisst, bei dem Anfangs- und Endknoten identisch sind. Ist ein Graph endlich, zusammenhängend und azyklisch (das heisst: weist er keinen Zyklus auf), so spricht man von einem Baum. Sind die Relationen, die zwischen den Knoten des Graphen herrschen, nicht symmetrisch, so muss ihre Richtung angegeben werden. Anstatt von Kanten spricht man dann von Pfeilen; der Graph selber wird als gerichteter Graph bezeichnet. Die zuvor eingeführten Begriffe gelten sinngemäss auch für gerichtete Graphen; die Bezeichnungen werden entsprechend angepasst: anstatt von einem Weg wird also beispielsweise von einem Pfeilweg oder von einem gerichteten Weg gesprochen. (1)

Die Struktur eines bestimmten Graphen lässt sich auf verschiedene Arten darstellen, auf die hier nicht im einzelnen eingetreten werden soll. Grundsätzlich können geometrische und algebraische Verfahren unterschieden werden. Im ersteren Falle werden die Knoten meist durch Punkte, die Kanten durch Linien (die bei gerichteten Graphen zudem mit einem Pfeilsymbol ergänzt sind) versinnbildlicht. Zur algebraischen Darstellung werden verschiedene Matrix-For-

men verwendet. Matrizendarstellungen sind im allgemeinen zu bevorzugen, wenn Operationen an Graphen durchzuführen sind; für die Speicherung von Graphen in elektronischen Datenverarbeitungsanlagen drängen sie sich auf. (2)

Wesentliche Teil der Graphentheorie beziehen sich allein auf die strukturellen Eigenschaften von Graphen. Die eingangs gegebenen Definitionen stellen nur einen kleinen, wenn auch wichtigen, Ausschnitt aus dem entsprechenden Begriffsgebäude dar. Die weiteren Strukturbegriffe und die damit erarbeiteten Erkenntnisse sind vorwiegend für den Mathematiker von Interesse. Immerhin bieten sich auch für einige dieser rein strukturellen Theorieinhalte betriebswirtschaftliche Anwendungsmöglichkeiten. So lässt sich etwa Nutzen aus dem Umstand ziehen, dass transitive Beziehungen zwischen den Elementen von Graphen zu Zykelfreiheit führen müssen. Bei der Planung grösserer Projekte wird zum Beispiel oft als erstes eine Liste aller nötigen Tätigkeiten aufgestellt. Im nächsten Schritt wird für jede Tätigkeit einzeln ermittelt, welche anderen Tätigkeiten abgeschlossen sein müssen, bevor sie in Angriff genommen werden kann, das heisst, es werden die Reihenfolgebeziehungen festgelegt. Dabei können sich leicht Verstösse gegen die Transitivität dieser Relation einschleichen. Erstellt man aber in der Folge einen entsprechenden Netzplan, so treten diese Fehler in der Form von Zyklen klar zutage und können noch bereinigt werden (3). Arnold Kaufmann wiederum untersucht mit graphentheoretischen Mitteln die Struktur von Kommunikationsnetzen. Er kann damit die Wichtigkeit der Stellung eines Individuums innerhalb eines bestimmten Netzes, den Einfluss der Einführung einer zusätzlichen oder des Weglassens einer bisherigen Kommunikationsbeziehung, den zentralistischen oder dezentralen Charakter eines Netzes, usw. beurteilen (4). Anwendungen auf die Unternehmungsorganisation bieten sich an.

Wenn die Anwendungsmöglichkeiten der rein strukturbezogenen Inhalte der Graphentheorie in der Betriebswirtschaftslehre bisher sicherlich erst zum Teil

erkannt und ausgenützt wurden, so dürfte doch feststehen, dass sie eng begrenzt sind (5). Bedeutend mehr für die Zukunft versprechen jene Theorieteile, die sich mit bewerteten Graphen befassen. Bei einem bewerteten Graphen, auch N e t z w e r k genannt, werden den Kanten und/oder den Knoten Werte wie Kosten, Gewinne, Distanzen, Wahrscheinlichkeiten, etc. zugeordnet (6). Die von uns in vorangehenden Kapiteln behandelten Entscheidungs- und Spielbäume sind somit als besondere Formen gerichteter und bewerteter Graphen zu bezeichnen. Die Graphentheorie unterscheidet nun eine ganze Reihe von Netzwerkproblemen, die nur zum Teil Baumform aufweisen (7). Sie zeigt auch, wie sich die meisten dieser Probleme ineinander überführen lassen. Das ist wertvoll, erlaubt es doch, Lösungsverfahren, die auf einen Problemtyp anwendbar sind, auch auf die verwandten Probleme anzuwenden, wenn man diese entsprechend umformt. Zur Lösung von Netzwerkproblemen sind teilweise besondere Methoden entwickelt worden; in vielen Fällen lassen sich auch allgemeinere Optimierungsverfahren, wie etwa die lineare Programmierung, einsetzen, wobei deren Verwendung durch die spezielle Beschaffenheit der Netzwerkprobleme erleichtert wird. Wir gehen im folgenden auf die wichtigsten Netzwerkprobleme kurz ein.

Das T r a n s p o r t p r o b l e m kann als Grundtyp der Netzwerkprobleme bezeichnet werden. In der klassischen Form geht es auf F. L. Hitchcock zurück und wird deshalb auch Hitchcock-Problem genannt (8). Die Problemstellung nach Hitchcock ist wie folgt charakterisiert: Die Knoten des Graphen zerfallen in zwei Teilmengen. Die eine Teilmenge besteht aus insgesamt m Knoten des Typs a_i, die andere aus n Knoten des Typs e_j. In der ursprünglichen Problemlage stellt die erste Knotengattung Abgangsorte, die zweite Empfangsorte dar. Jeder Abgangsort ist mit jedem Empfangsort durch eine Kante verbunden, welche einen Transportweg symbolisiert. An jedem Abgangsort liegt eine bestimmte Menge eines Produktes p bereit, an jedem Empfangsort wird eine bestimmte Menge von p benötigt. Der Transport einer Mengeneinheit von p vom Abgangsort a_i an den Empfangsort e_j verursacht Kosten in der Höhe c_{ij}.

Die Transportkosten verhalten sich linear zur transportierten Menge; werden also x Einheiten des Produkts von a_i nach e_j gesandt, so verursacht dies insgesamt Kosten in der Höhe von $x_{ij}c_{ij}$. Gesucht ist das beste Transportprogramm. Die Lösung hat somit für jeden Abgangsort anzugeben, welche Produktemengen von diesem an welche Empfangsorte zu schicken sind, damit die Summe aller Transportkosten $\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} x_{ij}c_{ij}$ ein Minimum ergibt. Das Auffinden der Lösung wird beim Hitchcock-Problem erleichtert durch die Einschränkungen, dass der Bedarf an jedem Empfangsort genau zu decken ist, dass von jedem Abgangsort alle vorhandenen Produkte zu versenden sind und dass die Gütermenge auf dem Transport nicht verändert wird (zum Beispiel durch Warenverluste).

Der Zusammenhang des klassischen Transportproblems mit dem Sequentialentscheid ist zunächst nicht offenkundig, weil die Zeitdimension in diesem Problem keine Rolle spielt. Wie wir jedoch in Kapitel 2.2 gezeigt haben, kommt der Zeit vom Gesichtspunkt der Problembehandlung aus gesehen grundsätzlich keine Sonderbedeutung zu; entscheidend ist vielmehr, dass mehrere Variablenwerte zusammen zu optimieren sind. Dies ist beim Transportproblem zweifellos der Fall: Die Produktmenge, die vom Abgangsort a_i an den Empfangsort e_j gesandt werden soll, darf nicht unabhängig von den anderen Transporten festgelegt werden, denn sie vermindert ja die Möglichkeiten der Belieferung weiterer Empfangsorte ab a_i ebenso wie die Varianten der Versorgung von e_j von anderen Abgangsorten aus. Die Algorithmen zur Lösung des Hitchcock-Problems sind deshalb auch für entsprechende Sequentialentscheide von Interesse. Noch deutlicher werden die Zusammenhänge bei zwei Sonderformen des Transportproblems, nämlich bei der Transportoptimierung über mehrere Perioden und bei Transporten, die nicht direkt von den Abgangs- zu den Empfangsorten, sondern über eine oder mehrere Zwischenstationen erfolgen.

Das optimale Transportprogramm für ein ganzes Jahr entspricht dann nicht unbedingt den zwölf für jeden Monat einzeln ermittelten, optimalen Transport-

plänen, wenn (etwa wegen saisonalen Schwankungen der Nachfrage oder der Produktion) nicht in jedem Monat dieselben Produktmengen an den Empfangsorten benötigt werden, beziehungsweise an den Abgangsorten verfügbar sind, oder wenn die Transportkosten im Verlaufe des Jahres schwanken, und wenn zu einem oder mehreren dieser Umstände noch hinzukommt, dass das Produkt sich lagern lässt. Dann kann es beispielsweise angezeigt sein, den Bedarf des Empfangsortes e_j für den Monat Juni bereits durch eine Lieferung vom Ort a_i aus im April zu decken. Es liegt somit ein echtes sequentielles Problem vor. Mit einem einfachen Kunstgriff führt Harvey Wagner dieses auf ein ganz gewöhnliches Transportproblem zurück. An die Stelle jedes einzelnen der verschiedenen Abgangs- und Empfangsorte setzt er deren zwölf, je einen für jeden Monat des Jahres. Die mit einer der üblichen Methoden errechnete, kostenminimale Lösung gibt dann beispielsweise an, welche Produktmenge vom Abgangsort "$a_{2,\text{April}}$" an den Empfangsort "$e_{24,\text{Juni}}$" zu transportieren ist. Es muss einzig verhindert werden, dass das Optimum Anweisungen für Produktsendungen von einem späteren in einen früheren Monat aufweist. Das kann leicht dadurch geschehen, dass bei der Problemformulierung entweder keine Kante zwischen den betreffenden Knoten eingeführt oder dass diese mit extrem hohen Transportkosten bewertet wird (9). Diese Rückführung eines mehrperiodigen Transportproblems auf ein einperiodiges durch Wagner zeigt im übrigen deutlich die erwähnte innere Uebereinstimmung zwischen zeitlichen und zeitlosen mehrwertigen Optimierungsproblemen.

Dass Transporte über Zwischenstationen ebenfalls zeitliche Folgen von zwei oder mehreren Massnahmen darstellen, ist ohne weiteres ersichtlich, auch wenn die Zeit nicht explizit in Erscheinung tritt wie im mehrperiodigen Transportproblem. Es liegt in der Natur der Sache, dass aneinander anschliessende Teilwege vom selben Transportgut nur zeitlich nacheinander zurückgelegt werden können, selbst wenn es sich beim letzteren beispielsweise um ein elektrisches Signal auf einer Funk- oder Telephonverbindungsstrecke handelt. Auch der Fall von Transporten über Zwischenstationen lässt sich auf das klassische

Problem des direkten Transports zwischen Abgangs- und Empfangsknoten zurückführen (10).

In der Praxis weisen Transportprobleme neben den bisher erwähnten Charakteristiken zumeist weitere auf, welche ihre Behandlung erschweren. So sind etwa die Kapazitäten von Transportstrecken oftmals begrenzt. Zulässige Lösungen dürfen den betreffenden Kanten des Graphen somit keine Gütermengen zuordnen, welche deren Leistungsfähigkeit übersteigen; die mathematische Problemformulierung muss entsprechende Einschränkungen enthalten (11). Bei Netzwerken mit Kapazitätsrestriktionen kann auch die Frage interessieren, wie gross der Güterfluss ist, der im Maximum gleichzeitig durch die verschiedenen Wege transportiert werden kann. Sie lässt sich auf Grund des sogenannten "min-cut-max-flow"-Theorems nach Ford und Fulkerson und eines darauf aufbauenden Algorithmus derselben Autoren beantworten (12).

Die bisher erwähnten Erkenntnisse über Transportprobleme können nicht nur an bestehenden Netzwerken, sondern auch beim Entwurf neuer ausgenützt werden. So ist es zum Beispiel möglich, mehrere Varianten von Standorten für die geplanten dezentralen Auslieferungslager eines Produktionsbetriebes nach den sich dabei ergebenden, minimalen Transportkosten miteinander zu vergleichen. Graphentheoretisch gesprochen, ist bei einem solchen Problem lediglich ein einzelner Knoten (die bestehende Fabrik) vorgegeben; die übrigen Knoten und die Kanten sind zu bestimmen. Liegt demgegenüber ein Netzwerk mit beschränkter Transportkapazität vor, dessen Struktur nicht geändert werden kann, so lassen sich nach Ford und Fulkerson die Folgen für den maximal möglichen Durchfluss untersuchen, die sich ergäben, wenn man die Kapazitäten verschiedener Kanten erhöhen oder verringern würde. Die noch nicht angeführten Algorithmen von Kruskal und von Sollin schliesslich erlauben die Konstruktion von sogenannten Minimalgerüsten. Dabei sind sämtliche Knoten eines Netzwerkes bereits vorgegeben; bekannt sind ferner die Werte (z.B. die Kosten) sämtlicher zwischen diesen Knoten kombinatorisch möglicher Kan-

ten. Gesucht ist ein Netzwerk (ein Minimalgerüst), bei dem alle Knoten durch Kanten direkt oder indirekt miteinander verbunden sind und bei dem die Werte aller Kanten ein Minimum ergeben. Die Algorithmen lassen sich auch auf bereits bestehende Netzwerke anwenden, deren Gesamtwert noch über demjenigen eines Minimalgerüstes liegt (13).

Als ein degeneriertes Transportproblem ist das Zuordnungs- oder Assignationsproblem zu bezeichnen, indem hier genau gleichviele Abgangs- wie Empfangsorte bestehen, an jedem Abgangsort nur je eine Gütereinheit verfügbar ist und an jedem Empfangsort nur je eine Gütereinheit benötigt wird. In der Wirklichkeit finden sich freilich kaum je Transportprobleme, welche diesem Schema entsprechen. Als Anwendungsbeispiele werden vielmehr meist Fälle genannt, in denen sich m Stellenanwärter für m offene Stellen einer Firma gemeldet haben, oder wo m Produktionsaufträgen m freie Maschinen gegenüberstehen. Den unterschiedlichen Transportkosten entspricht dabei die unterschiedliche Eignung der Stellenanwärter für verschiedene Posten, beziehungsweise der Maschinen für die Erledigung der verschiedenen Produktionsaufträge. Das Problem ist deshalb in der Regel nicht trivial, weil sich einzelne Stellenanwärter (Maschinen) gleichzeitig für mehrere Arbeiten am besten eignen würden. Da sich das Zuordnungsproblem als ein Transportproblem auffassen lässt, kann es grundsätzlich mit denselben Methoden wie das letztere angegangen werden. Allerdings eignen sich Verfahren, die seine speziellen Eigenschaften berücksichtigen, besser dafür. Unter diesen gilt die ungarische Methode von Kuhn als besonders leistungsfähig (14).

Wie das Zuordnungsproblem stellt auch die Suche nach dem kürzesten Weg ein besonderes Transportproblem dar. Hier stehen gleichsam mehrere, vollständig festgelegte Transportvarianten mit ihren Konsequenzen zur Wahl, während sowohl im allgemeinen Transportproblem wie im Zuordnungsproblem die Kanten des Graphen lediglich Entscheidungsvariablen verkörpern, deren Werte noch zu bestimmen sind. Wie sein Name andeutet, ging es bei diesem

neuen Problemtyp ursprünglich nur darum, die kürzeste Reiseroute zwischen einem bestimmten Ausgangspunkt und einem Zielort zu ermitteln. Man kann aber die Kanten des Graphen statt mit Distanzen natürlich genausogut mit Kosten oder anderen Grössen bewerten. Die Verfahren zur Bestimmung des kürzesten Weges lassen sich deshalb auf zahlreiche Minimierungsprobleme anwenden. Sie setzen voraus, dass das Netzwerk keinen Zyklus mit einem negativen Gesamtwert aufweist. Der Grund ist leicht einzusehen: der Wert der Lösung wäre dann nicht begrenzt; das optimale Verhalten würde darin bestehen, den betreffenden Zyklus unendlich oft zu durchlaufen. Ist das Netzwerk überhaupt frei von Zyklen, so lässt sich der kürzeste Weg besonders einfach bestimmen. Auch im allgemeinen Falle sind diese Probleme aber meist wesentlich leichter lösbar als Zuordnungsprobleme. (15)

Bei der Aufgabe, den kürzesten Weg zu finden, können zusätzliche Bedingungen gestellt werden. Wichtig ist namentlich diejenige, dass eine zulässige Lösung ganz bestimmte, vorgegebene Knoten neben Ausgangs- und Zielpunkt berühren muss (16). Verwandt damit, praktisch jedoch weniger bedeutsam, ist die Forderung, dass eine Lösung aus genau q Kanten zusammengesetzt zu sein habe (17). Schliesslich kann nicht nur nach dem absolut kürzesten, sondern nach den k kürzesten Wegen (also beispielsweise nach dem kürzesten, dem zweitkürzesten und dem drittkürzesten Weg) gefragt werden. Dies ist vor allem dann von Interesse, wenn der schliesslich zu beschreitende Weg nicht nur auf Grund der zu minimierenden Grösse, sondern zusätzlich nach weiteren Gesichtspunkten bestimmt wird (18).

Abweichend vom ursprünglichen Reiseroutenproblem kann in einem Graphen ohne weiteres auch der absolut kürzeste Weg zwischen mehreren möglichen Start- und Zielknoten aufgefunden werden. Dadurch weitet sich der Anwendungsbereich dieser Verfahren erheblich aus, denn die früher besprochenen Entscheidungs- und Spielbäume stellen ja nichts anderes als Netzwerke mit einem einzigen Ausgangspunkt und verschiedenen Endpunkten dar. Es kommt hinzu, dass

der längste Weg durch einen Graphen grundsätzlich ebensogut bestimmt werden kann wie der kürzeste, womit die entsprechenden Verfahren auch für Maximierungsprobleme anwendbar werden. In der Netzplantechnik, auf die im folgenden Kapitel noch speziell eingegangen wird, spielt der längste Weg eine herausragende Rolle, denn es handelt sich bei ihm um den kritischen Weg.

Es sei hier kurz darauf hingewiesen, dass an sich auch das allgemeine Transportproblem, sowie das Zuordnungsproblem in die Form einer Frage nach dem kürzesten oder längsten Weg gebracht werden könnten. Das empfiehlt sich jedoch nicht, denn es würde bedeuten, dass anstelle eines Graphen mit je einer Kante pro Entscheidungsvariable ein solcher mit einer Kante für jeden zulässigen Wert jeder solchen Variable konstruiert werden müsste! Nach eben diesem Prinzip sind aber die üblichen Entscheidungs- und Spielbäume aufgebaut, was erneut ein Schlaglicht auf das Problem des Lösungsaufwandes wirft. Zur Bestimmung des kürzesten Weges sind denn auch einige Dekompositions-Algorithmen entwickelt worden. Diese spalten das gesamte Netzwerk in mehrere Teile auf, behandeln diese gesondert und fügen die Teillösungen anschliessend zusammen. Das spart vor allem Platz auf den "schnellen" Speichermedien von Computern ein, führt in der Regel aber auch zu kürzeren Bearbeitungszeiten (19).

Einen Sonderfall der Suche nach dem kürzesten Wege (und damit auch des allgemeinen Transportproblems) stellt das sogenannte Problem des H a n d e l s r e i s e n d e n dar. Es wird auch als Boten- oder Rundfahrtproblem oder, selbst in der deutschsprachigen Literatur, als "Travelling Salesman"-Problem bezeichnet. Dabei sind nicht allein ein Start- und ein Endknoten (die identisch sein können) vorgegeben, sondern zudem sämtliche Zwischenknoten, die von jeder zulässigen Lösung berührt werden müssen. Weitere Knoten enthält das Netzwerk nicht. Jeder Knoten, mit Ausnahme gegebenenfalls des Start- und Endknotens, darf nur ein einziges Mal "angelaufen" werden. Ein Weg durch

das Netzwerk, der diesen Bedingungen genügt, wird ein Hamiltonscher Weg, beziehungsweise, bei Rückkehr an den Ausgangspunkt, ein Hamiltonscher Zyklus genannt. Das Handelsreisendenproblem besteht somit darin, den kürzesten Hamiltonschen Weg oder - Zyklus zu finden. Zumeist werden Fälle betrachtet, in denen jedes Knotenpaar des Netzwerkes durch eine Kante direkt verbunden ist. Bei einer Anzahl von n Knoten bestehen dann (n-1)! Lösungsmöglichen. Einem Handelsreisenden, der 10 Städte oder Kunden besuchen muss, stehen somit nicht weniger als 362.880 Besuchsreihenfolgevarianten offen! Die Tücken des Problems liegen hier aber nicht nur in den leicht ins Enorme anwachsenden Variantenzahlen, sondern auch darin, dass die zahlreichen zusätzlichen Bedingungen, denen der kürzeste Weg genügen muss, schwer einzuhalten sind. Handelsreisendenprobleme bereiten deshalb noch mehr Mühe als Zuordnungsprobleme, mit denen sie ebenfalls eng verwandt sind. Dabei gibt es verhältnismässig viele betriebswirtschaftliche Anwendungen für diesen Typ von Netzwerkproblemen. Neben den klassischen Tourenoptimierungen sind dies vor allem Fälle, in denen n Aufträge nacheinander von derselben Leistungseinheit erledigt werden sollen, wobei die Gesamtkosten von der Reihenfolge der Bearbeitung abhängen. So sind etwa die Umrüstzeiten von Mehrzweckmaschinen verschieden, je nachdem, ob nach dem Produkt p_1 als nächstes p_2 oder aber p_3 gefertigt wird. Analoge Zusammenhänge bestehen bei den Reinigungskosten von Kesseln in der chemischen Produktion oder von Röhren in Oelraffinerien. Das Problem lässt sich vereinfachen, wenn es gelingt, die Aufträge oder Produkte in Kategorien zusammenzufassen, für welche dieselben Abhängigkeiten gelten. (20)

Handelsreisendenprobleme sind nicht nur spezielle Transportprobleme, sondern zugleich die einfachste Form von R e i h e n f o l g e p r o b l e m e n. Diese weisen im allgemeinsten Falle nicht eine einzige Leistungseinheit, sondern deren m auf, die von jedem der n Aufträge allesamt beansprucht werden. Ab m = 2 können Reihenfolgeprobleme allerdings nicht mehr als Netzwerkpro-

bleme gelten; nach wie vor handelt es sich aber um sequentielle Entscheide, die zu treffen sind. Es versteht sich von selbst, dass die Schwierigkeiten der Optimumbestimmung mit der Anzahl der Leistungseinheiten (im folgenden einfachkeitshalber als Maschinen bezeichnet) nochmals stark anwachsen. Ist die Bearbeitungsreihenfolge in keiner Weise eingeschränkt, so ergeben sich $(n!)^m$ Möglichkeiten; im Falle von bloss 5 Aufträgen und 4 Maschinen also bereits deren 207.360.000. Wenn, wie häufig in der Praxis, die Operationenfolge für jeden Auftrag fest vorgegeben ist, liegt nur noch ein Maschinenbelegungsproblem vor und die Zahl der Varianten ist wesentlich kleiner. Dennoch sind bis heute optimale Maschinenbelegungen generell nur für höchstens zwei Maschinen bei n Aufträgen bestimmbar. Es kommt hinzu, dass das Problem dabei statisch betrachtet wird, denn es wird angenommen, dass alle Maschinen frei sind und die Aufträge gleichzeitig vorliegen. Zumeist treffen jedoch Aufträge laufend ein. Das Reihenfolgeproblem kann dann grundsätzlich mit den Methoden der Warteschlangentheorie angegangen werden, wobei die bisher erzielten Ergebnisse allerdings mehr als bescheiden sind. (21)

Wir haben auf den vorangehenden Seiten die wichtigsten Netzwerkprobleme eher knapp behandelt. Das hat zwei Hauptgründe: zum einen spielen bei ähnlichen sequentiellen Entscheidungsproblemen in der Wirklichkeit fast immer wesentlich mehr Faktoren eine Rolle, als in diesen Modellen berücksichtigt werden; zum andern überfordern selbst praktische Probleme, welche den Modellannahmen entsprechen, mit ihrer Grösse sehr rasch die Leistungsfähigkeit der verfügbaren Lösungsmethoden. Zu beiden Punkten sind hier einige zusammenfassende Bemerkungen am Platz.

Der wichtigste in den Netzwerkmodellen vernachlässigte Faktor ist zweifellos die Wahrscheinlichkeit von Konsequenzen (22). Diese Auslassung scheint von der Art der Problembehandlung her fast unvermeidlich zu sein. In den heute üblichen, praktischen Anwendungen dieser Modelle wiegt sie kaum schwer; einer Ausweitung des Einsatzbereiches sind dadurch aber sehr enge Grenzen

gezogen.

In Transportproblemen werden zwar, wie wir gezeigt haben, mehrere Variablenwerte gemeinsam bestimmt. Es handelt sich aber stets um denselben Variablentyp oder, konkreter, um dasselbe Produkt, von dem lediglich die auf verschiedenen möglichen Teilstrecken zu befördernden Mengen festgelegt werden. Ansätze zur Berücksichtigung mehrerer Produkte (beziehungsweise: von Varianten mit Vektor-Charakter) sind selten und wenig leistungsfähig. Die Schwierigkeiten sind verständlich im Falle der Transportprobleme im engeren Sinne und der Zuordnungsprobleme, denn hier verkörpern die einzelnen Kanten ja Entscheidungsvariablen mit ihrem ganzen Wertebereich, zu denen eine entsprechende Zielfunktion definiert ist. Nicht recht einleuchten wollen sie uns bei den Problemen des kürzesten oder des längsten Weges. Da die Kanten dabei einzelne Varianten und ihre Konsequenzen darstellen, sollte die Angabe von Vektoren bei den ersteren an sich genauso gut möglich sein wie die von Skalaren. (23)

Die Konsequenzen sind in Netzwerken ebenfalls eindimensional. Die Kanten werden also mit Zeiten oder mit Kosten oder mit Gewinnen bewertet, nicht jedoch mit mehreren Grössen zugleich. Bei den eigentlichen Transportproblemen und bei den Zuordnungsproblemen dürfte hiefür die Schwierigkeit einer automatischen Konsequenzenaggregation durch den Algorithmus verantwortlich sein. Bei den Weg-Minimierungen und -Maximierungen wiederum muss die Konsequenzenbewertung ohnehin "von Hand" erfolgen; dabei könnte unseres Erachtens auch eine Aggregation durchgeführt werden.

Die Eindimensionalität von Varianten und Konsequenzen schränkt die Einsatzmöglichkeiten der Netzwerkmodelle gegenwärtig zusätzlich stark ein. Weniger erheblich für betriebswirtschaftliche Anwendungen ist demgegenüber der Umstand, dass sich damit keine kontinuierlichen Probleme behandeln lassen (24) und günstig wirkt sich die Tatsache aus, dass Ganzzahligkeit in vielen Fällen garantiert werden kann (25). Die Voraussetzung der Nichtnegativität sämtlicher

Konsequenzen, die an viele Algorithmen zur Bestimmung des günstigsten Weges geknüpft ist, dürfte hingegen in betriebswirtschaftlichen Zusammenhängen oft hinderlich sein.

Anhand einzelner konkreter Beispiele haben wir auf die ungemein grossen Variantenzahlen hingewiesen, die sich bereits durch die Kombination weniger Werte ergeben. Es versteht sich, dass der Umfang der Probleme (ceteris paribus) nochmals kräftig zunimmt, wenn anstelle eindimensionaler Varianten und Konsequenzen mehrdimensionale auftreten und die Konsequenzen zudem unsicher sind (wie besonders deutlich aus Abbildung 1 hervorgeht, muss ein Entscheidungsbaum im letzteren Falle für jeden möglichen Konsequenzenvektor eine eigene Kante aufweisen). Alle drei Erweiterungen sind jedoch üblicherweise in sequentiellen Entscheidungsproblemen gegeben. Will man einen uneingeschränkt rationalen Entscheid treffen und deshalb alle Varianten ins Kalkül einbeziehen, so wird an dieser Stelle deutlich, dass für die Lösung Enumerationsverfahren in der Wirklichkeit wohl kaum je in Frage kommen können. Leistungsfähigere Methoden setzen aber voraus, dass die verschiedenen Problemvariablen bestimmten, mathematisch fassbaren Regelmässigkeiten gehorchen. Selbst dort, wo die entsprechenden Voraussetzungen erfüllt sind und effiziente Netzwerkalgorithmen daher grundsätzlich anwendbar wären, bildet die Grösse der meisten Probleme der Praxis vorderhand noch eine unüberwindbare Schwelle. Je freier die verschiedenen Entscheidvariablenwerte miteinander kombinierbar sind, desto grösser wird die Zahl der möglichen Lösungen. In den meisten praktischen Fragestellungen unterliegt die Kombinierbarkeit zwar verschiedenen Einschränkungen. Dadurch wird die Problemgrösse in der Regel stark herabgesetzt; sehr oft reicht dies jedoch bei weitem noch nicht aus, um die betreffenden Anwendungsfälle zu lösen. Zur Verdeutlichung: In neueren vergleichenden Programmtests auf Grosscomputern konnten Netzwerke mit bis zu 35.000 Kanten, beziehungsweise 8.000 Knoten analysiert werden (26). Es kommt hinzu, dass Einschränkungen häufig die Berechnungen erschweren.

Stafford Beer und Arnold Kaufmann messen der Graphentheorie hervorragende Bedeutung für die weitere Entwicklung von Entscheidungstheorie und Operations Research zu (27). Voraussetzung dafür ist unseres Erachtens vor allem, dass es gelingt, die erwähnten einengenden Bedingungen bei den Netzwerkmodellen zu lockern. Darüber hinaus müsste auch die Computertechnik noch etliche Fortschritte machen.

Die Netzplantechnik stellt im wesentlichen die Anwendung verhältnismässig kleiner Ausschnitte aus der Graphentheorie dar. Dennoch sind zu ihr bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt wahrscheinlich sehr viel mehr Veröffentlichungen erschienen als zur Graphentheorie im allgemeinen. Da die Netzplantechnik stark auf die unternehmerische Planung und Kontrolle ausgerichtet ist, sind in ihrem Rahmen einige der bisherigen Beschränkungen der Graphentheorie besonders empfindlich verspürt und gewisse Ansätze zu ihrer Ueberwindung entwickelt worden. Vor allem aus diesem Grunde befassen wir uns nunmehr noch speziell mit ihr. Wir können uns dabei weitgehend auf die in diesem Kapitel gelegten Grundlagen stützen.

243.2 Zur Netzplantechnik im besonderen

Die verbreitetste Einsatzart der Netzplantechnik dürfte sich ungefähr wie folgt beschreiben lassen (28): Ein Entscheid zur Verwirklichung eines bestimmten Projektes ist getroffen worden. Die dazu nötigen Tätigkeiten sind bekannt, ebenso die zwischen ihnen bestehenden Reihenfolgebeziehungen. Ferner liegen Angaben über den Zeitaufwand zur Durchführung der einzelnen Tätigkeiten vor. Auf dieser Grundlage wird ein Netzplan in der Form eines Graphen gezeichnet. Erweist sich dieser aus Termin- oder Kapazitätsgründen als nicht durchführbar, so wird er solange geändert, bis eine befriedigende Version gefunden ist. Bei Aenderungen werden vor allem zwei Erkenntnisse ausgenützt: Anstrengungen zur Vorverlegung von Realisierungsterminen müssen bei den kri-

tischen Vorgängen ansetzen und Kapazitätsbelastungen können verringert werden, indem ursprünglich zur gleichzeitigen Durchführung vorgesehene Tätigkeiten, welche denselben knappen Faktor in Anspruch nehmen, nacheinander erledigt werden. Während der Verwirklichung konzentriert sich die Kontrolle der Planeinhaltung wiederum in erster Linie auf die kritischen Vorgänge oder Ereignisse. Der Netzplan ermöglicht eine Art Sensibilitätsanalyse hinsichtlich der Auswirkungen von Terminüberschreitungen und damit auch ein "management by exception": eingegriffen zu werden braucht nur, wenn die Abweichungen Projektziele gefährden. Dank der Verkettung der von einander abhängigen Vorgänge und Ereignisse lassen sich mit dem Netzplan die Folgen der Nichteinhaltung von Terminen bis zum Projektende ableiten.

Alle bekannten Netzplantechniken stehen im Dienste dessen, was wir in Kapitel 2.2 als "Rückwärtsplanung" bezeichnet haben. Die an jener Stelle formulierte, grundsätzliche Kritik an dieser Planungsart trifft auch auf die gerade geschilderte, übliche Benutzung netzplantechnischer Erkenntnisse zu und braucht hier nicht wiederholt zu werden. Es gibt jedoch neuere Entwicklungen in der Netzplantechnik, die teilweise die von uns bereits kritisierten Punkte berühren, teilweise auch die spezifischen Schwächen der ersten Netzplanverfahren zu beheben trachten. Darauf sei nun vor allem eingegangen.

Etliche Ansätze befassen sich mit der Tatsache, dass die Konsequenzen der im Plan vorgesehenen Tätigkeiten und Vorgänge längst nicht immer als sicher angenommen werden können. Am bekanntesten darunter ist die PERT-Technik, die mit unsicheren Zeitdauern rechnet. Auf Grund einer optimistischen, einer pessimistischen und einer realistischen Schätzung, sowie der Annahme einer Beta-Verteilung werden für jeden Vorgang Erwartungswerte und Varianz seiner Dauer errechnet. Weiter lassen sich Erwartungswert und Varianz der Gesamtprojektdauer, sowie die Wahrscheinlichkeit von Terminüberschreitungen bestimmen (29). Der eigentliche Netzplan beruht auf den erwarteten Vorgangsdauern. Gegen diese Art der Behandlung der Unsicherheit sind mannigfaltige

Kritiken geäussert worden (30). Einer der wichtigsten Einwände richtet sich gegen die Verwendung von Erwartungswerten bei Projekten, die fast immer einmaligen Charakter haben. Der tatsächlich kritische Weg kann im Einzelfall natürlich ein ganz anderer sein, als die erwarteten Vorgangsdauern vermuten lassen. Angesichts dieses Problems sind zwei interessante Verbesserungsvorschläge gemacht worden. D. J. A. Welsh schlägt vor, diejenigen Vorgänge, welche gleichzeitig nicht nur dem absolut längsten, sondern den k längsten Wegen durch das Projektnetzwerk angehören (mit $k \geq 2$), als sogenannte "superkritische Vorgänge" anzusehen und entsprechend zu überwachen (31). Richard van Slyke dagegen führt eine grosse Zahl von Monte-Carlo Simulationen am Netzplan durch. Er ist dabei nicht an die übliche PERT-Annahme einer Beta-Verteilung gebunden. Als Ergebnis weist er jedem Vorgang einen "Krisenindex" ("criticality index") zu. Dieser besteht aus dem Verhältnis der Zahl derjenigen Simulationen, bei denen der betreffende Vorgang dem kritischen Weg angehörte, zur Gesamtzahl der mit dem Projekt durchgeführten Simulationen (32).

Ein weiterer wesentlicher Mangel der PERT-Technik liegt darin, dass sie nur die Dauer der Vorgänge als unsicher betrachtet, nicht aber auch deren materielle Ergebnisse. Nicht allein Forschungs- und Entwicklungsprojekte zeigen jedoch, dass diese unterschiedlich ausfallen können. Die Erreichung des gesteckten Zieles ist somit oft nicht nur bezüglich des Termins, sondern überhaupt gefährdet. Je wichtiger es aber ist, ans Ziel zu gelangen, desto eher rechtfertigt es sich, besondere Sicherungsvorkehrungen dafür zu treffen. So wird etwa das Bereitstellen von Arbeitskraftreserven, Notstromaggregaten, usw. empfohlen (33). Damit nähert man sich einer Eventualplanung. Einem andern Vorschlag zufolge sollte man in extremen Fällen das Ziel gleichzeitig auf mehreren Wegen ansteuern. Den zusätzlichen Kosten eines solchen Vorgehens wären insbesondere Wahrscheinlichkeit und Konsequenzen eines Schiffbruchs bei einem "eingleisigen" Realisierungsversuch gegenüberzustellen (34).

Ein Punkt, der in der Kritik an PERT nicht viel Raum einnimmt, ist für uns in einem weiteren Zusammenhang von Interesse. Es kommt vor, dass die Dauern verschiedener Vorgänge nicht unabhängig, sondern durch positive oder negative Korrelationen miteinander verbunden sind. Clark nennt einen möglichen Grund dafür: Wenn zwei aufeinanderfolgende Tätigkeiten unter der Verantwortung derselben Person durchgeführt werden, wird diese häufig die Erledigungszeiten beeinflussen. Ist bei der ersten Tätigkeit eine Verspätung entstanden oder Zeit eingespart worden, so kann dies zu "Anpassungen" im positiven wie im negativen Sinne bei der folgenden Aufgabe führen. Der im Netzplan aufgeführte Erwartungswert für den zweiten Vorgang wird somit unter Umständen erheblich über- oder unterschritten, die Folge der ersten Planabweichung dementsprechend falsch eingeschätzt. Eine Möglichkeit, das Problem zu umgehen, besteht darin, den Zeitbedarf miteinander korrelierender Vorgänge gesamthaft zu bestimmen. Des weiteren gibt es Formeln zur Bestimmung von Gesamterwartungswerten und -varianzen im Falle von Abhängigkeiten. (35)

Vereinzelt wird in der Literatur zur Netzplantechnik auch auf jene besondere Form von Unsicherheit eingegangen, die wir bereits im Zusammenhang mit den allgemeinen Planungsverfahren und der statistischen Entscheidungstheorie gestreift haben und die im möglichen Eintreffen von "Innovationsinformationen" während der Durchführung eines Entscheides besteht. So wird etwa darauf hingewiesen, dass sich mit der Zeit andere Ausführungserfordernisse ergeben oder lohnendere Ziele zeigen können, als ursprünglich in die Planung einbezogen wurden. Bei solchen Vorkommnissen müsse entsprechend umdisponiert werden (36). Da der Inhalt von Innovationsinformationen definitionsgemäss nicht vorauszusehen ist, kann man sich mit diesem Rat hier noch zufriedengeben. Umdispositionen sind aber die Standardantwort der Netzplantechnik auf jedwede Planabweichung, das heisst, selbst auf solche Abweichungen, die auch ihrem Inhalte nach im voraus als Möglichkeiten hätten erkannt werden können. Das ist deshalb unausweichlich, weil keine der bekannteren Techniken Eventualentscheide kennt. "Folgerichtig", möchte man fast sagen, fordert denn auch

Robert Miller dazu auf, Flexibilität zu bewahren (37). Wir haben uns bereits in Kapitel 2.2 gegen eine unnötige Zuflucht zu diesem zweifelhaften Hilfsmittel ausgesprochen.

Unsere Schilderung der gebräuchlichsten Verwendungsweise der Netzplantechnik zu Beginn dieses Kapitels zeigt, dass dabei wenig entschieden wird. Bei der ersten Planaufstellung erfolgt im Grenzfall nur bezüglich des Starttermins ein Beschluss; im weiteren hält der Netzplan lediglich ein "fait accompli" fest. Ueblicherweise liegen natürlich vor der Planerstellung die Reihenfolgebeziehungen noch nicht völlig fest und auch die Zuteilung der Ressourcen auf die verschiedenen Teilaufgaben ist wenigstens teilweise noch offen. Sind Aenderungen an der ersten Planversion erforderlich, so werden einzelne Komponenten des bestehenden Netzwerkes angepasst. In der Regel begnügt man sich mit einem Plan, der das vorgegebene Projektziel mit den vorgegebenen Aktivitäten zu erreichen erlaubt und dabei keine der allenfalls bestehenden Einschränkungen verletzt. Eine Optimierung wird nicht angestrebt. Diese einseitige Ausrichtung der Planung an Durchführbarkeit und Termineinhaltung ist vielfach als zu eng empfunden worden. Es gibt daher etliche Ansätze zu ihrer Ueberwindung.

Viele Verbesserungsvorschläge verlangen, dass ein Netzplan nach zusätzlichen Gesichtspunkten beurteilt werde. Am häufigsten werden Kosten und Kapazitätsbelastung genannt. Es wird dann meist eine Planung in mehreren Phasen vorgeschlagen: Der entworfene Netzplan sei zuerst nach den Termin-, dann nach den Kosten-, schliesslich nach den Kapazitätsbelastungs-Konsequenzen zu beurteilen und gegebenenfalls zu verbessern (38). Das unterstellt eine lexikographische Ordnung der verschiedenen Entscheidungskriterien, die längst nicht immer gegeben sein dürfte. Die Methoden, welche zur Verbesserung von Planentwürfen entwickelt wurden, beruhen ferner fast alle auf der Annahme, die beste Massnahmensequenz setze sich aus den besten Einzelmassnahmen zusammen; zudem handelt es sich meist um Heuristiken. Im Falle von PERT/COST beispielsweise wird der erste Netzplan aus den jeweils kostengünstigsten Varianten zur Errei-

chung der verschiedenen Teilziele aufgestellt. Lassen sich damit die vorgegebenen Termine nicht einhalten und kann dies auch durch noch mögliche Aenderungen in der Reihenfolge der Vorgänge ("Parallelschaltungen" anstelle von ursprünglich vorgesehenen "Serienschaltungen") nicht erreicht werden, so müssen Vorgänge auf dem kritischen Weg durch teurere und schnellere Varianten ersetzt werden. Als Grundlage für solche Zeitkürzungen werden oft die mittleren Beschleunigungskosten der verschiedenen Vorgänge bezeichnet. Unter diesen versteht man die durchschnittlichen Kosten der Kürzung eines Vorganges um eine Zeiteinheit. Demnach sollen zunächst jene kritischen Vorgänge gekürzt werden, welche die niedrigsten mittleren Beschleunigungskosten aufweisen. Das wirft zwei Probleme auf. Zum einen dürften die genannten Kostenangaben in der Praxis selten zu beschaffen sein. Zum andern kann bei der geschilderten Ueberarbeitungsweise jederzeit ein anderer Weg kritisch werden. Der Netzplan müsste somit nach jeder Veränderung neu durchgerechnet werden. Oftmals wird empfohlen, auch die Konsequenzen einer Vorverlegung der ursprünglich vorgegebenen Termine zu prüfen. Den zusätzlichen Beschleunigungskosten seien Einsparungen an Fixkostenbelastungen, an Ausfallkosten (zum Beispiel durch die frühere Marktreife eines Produktes), etc. gegenüberzustellen. Bei Netzplänen, die nicht durchwegs aus kostenminimalen Komponenten bestehen, sollen andererseits Einsparungen durch die Verlängerung nichtkritischer Vorgänge erreicht werden. Der Hebel wäre dabei zuerst bei den Vorgängen mit den grössten mittleren Beschleunigungskosten anzusetzen. Hängen Vorgangsdauern und Kosten linear voneinander ab und handelt es sich zudem um deterministische Grössen, so kann eine Optimierung mit Hilfe der linearen Programmierung oder durch eine Anpassung des Ford-Fulkerson Algorithmus erfolgen. Methodisch befriedigen diese Verfahren zwar mehr als die vorher skizzierten Heuristiken; andererseits sind aber die Voraussetzungen ihrer Anwendung in der Wirklichkeit noch schwerer zu erfüllen. (39)

Eine Verbesserung des Netzplanes bezüglich der Inanspruchnahme von Kapazitäten wird meist als nächster Vorgehensschritt nach der Ueberarbeitung in

kostenmässiger Hinsicht vorgeschlagen. Das erstaunt zunächst deshalb, weil mit den betreffenden Massnahmen wiederum in erster Linie Kosteneinsparungen angestrebt werden. Es entspricht jedoch dem in der Netzplantechnik vorherrschenden Prinzip, die verschiedenen Einflussgrössen nach Möglichkeit getrennt voneinander zu berücksichtigen, wovon man sich methodische Erleichterungen verspricht. Offenkundig vernachlässigt man bei der zuvor geschilderten Betrachtung der Kosten der einzelnen Vorgänge diejenigen, die durch eine schwankende Beschäftigung verursacht werden. Deshalb soll nun eine Beschäftigungsglättung versucht werden. Dazu stehen verschiedene Rechenverfahren zur Verfügung, die beispielsweise auf der Methode der kleinsten Quadrate beruhen. Das Problem erschwert sich stark, wenn die Beschäftigung mehrerer Produktionsfaktoren ausgeglichen werden soll (40). Zudem dürfen Zusammenhänge mit Kosten und Dauer der einzelnen Vorgänge nicht übersehen werden, die durch die getrennte Vorgehensweise nicht aus der Welt geschafft werden.

Bei unsicherer Vorgangsdauer kann man häufig durch den Einsatz zusätzlicher Kapazitäten die Wahrscheinlichkeit der Termineinhaltung erhöhen. Dadurch erhöht man normalerweise aber auch die Kosten. Man kann deshalb dabei des Guten zuviel oder auch zuwenig tun. Die Literatur enthält Faustregeln zur Beurteilung eines Netzplanes in dieser Hinsicht. Danach gelten Wahrscheinlichkeiten der Termineinhaltung, die sich über etwa 0,6, beziehungsweise unter etwa 0,3 bewegen, als allzu hoch, respektive allzu niedrig. Dem Aktor wird nahegelegt, in solchen Fällen den Einsatz von dementsprechend weniger oder mehr Kapazitäten zu planen (41). Als rational lässt sich dieses Verfahren mit dem besten Willen nicht bezeichnen. Dies schon deswegen, weil es meistens möglich sein dürfte, die Konsequenzen von Terminüberschreitungen zu nennen und zu bewerten.

Zu Beginn dieses Kapitels wurde darauf hingewiesen, dass ein zunächst aufgestellter Netzplan aus Kapazitätsgründen oftmals nicht durchführbar ist, so dass

Umplanungen nötig werden. Hiezu sei ergänzt, dass solche Durchführbarkeitsbeurteilungen bei grösseren Netzplänen und mehreren Kapazitätsrestriktionen leicht so aufwendig werden können, dass sie der automatischen Datenverarbeitung übertragen werden müssen. Einige kommerziell angebotene Computerprogramme leisten in diesem Zusammenhange noch wesentlich mehr: sie entfernen die nicht realisierbaren Vorgänge aus dem Netzplan und setzen sie auf Wartelisten. Von diesen rufen sie die Vorgänge nach bestimmten Prioritätsregeln wieder ab, wenn die nötigen Kapazitäten während der Durchführung frei werden. Das Vorgehen entspricht grundsätzlich der bereits besprochenen Verwendung von Prioritätsregeln in der mehrstufigen Produktionsplanung (siehe Kapitel 2.2). Es setzt natürlich voraus, dass der ursprünglich vorgesehene Projekt-Endtermin verschiebbar ist. (42)

Weil die üblichen Netzplantechniken sowohl die Konstruktion eines Graphen aus vorgegebenen Knoten und Kanten, als auch die Bestimmung des längsten Weges, wie schliesslich die Durchführung einiger weiterer Berechnungen (insbesondere zur Ermittlung der Pufferzeiten) verlangen, stellt sich auch bei ihrer Anwendung des öfteren das Problem des damit verbundenen Aufwandes. Dieses wird hier etwas gemildert durch den Umstand, dass nur ein einziger Endknoten angesteuert wird. Ausserdem stehen dem Aktor in diesem Bereich zahlreiche leistungsfähige Computerprogramme zur Verfügung, wie wir an früherer Stelle schon erwähnt haben (43). Da das diesbezügliche Angebot raschen Aenderungen unterliegt, sei hier auf eine Uebersicht verzichtet. Stattdessen kann die grobe Richtlinie angegeben werden, dass Netzpläne nur bis zu etwa 100 oder 200 Vorgängen "von Hand" aufgestellt und analysiert werden sollten (44). Schliesslich sei auf zwei Möglichkeiten zur Verringerung des Aufwandes hingewiesen. Die erste besteht darin, gröber zu planen, das heisst, das Gesamtprojekt in weniger, dafür aber grössere Teilaufgaben aufzuspalten. Das kann Nachteile mit sich bringen: Die Vorgaben für die Durchführung sind weniger genau, eingetretene Verspätungen werden weniger rasch offenbar, Kosten- und Kapazitäts-

planungen oft erschwert. Immerhin sind abgestufte Vorgehensweisen möglich; so können beispielsweise Projektteile mit grösseren Verspätungsrisiken feiner geplant werden als andere (45). Nach der zweiten Vereinfachungsmöglichkeit wird der Gesamtnetzplan gröber dargestllt, als er in seinen Teilen vorher geplant wurde. Das geschieht dadurch, dass mehrere parallele und/oder serielle Kanten jeweils durch eine einzige ersetzt werden. Damit können lediglich Aufwand und Platz zur Darstellung des Gesamtplanes eingespart werden, was voraussetzt, dass mit diesem nur Grobüberblick und -kontrolle bezweckt werden. Nach dem im Zusammenhang mit der Wegminimierung bereits erwähnten Dekompositionsprinzip lassen sich aber auch weitere Aufwandeinsparungen verwirklichen, wenn die einzelnen Projektteile getrennt geplant und anschliessend zu einem vereinfachten Gesamtplan zusammengefügt werden. Das kann allerdings Abstimmprobleme mit sich bringen (46).

Beurteilt man die bisher besprochenen Verfahren der Netzplantechnik von der Warte einer uneingeschränkten Rationalitätsauffassung aus, so sind sie allesamt als zuwenig "offen" zu bezeichnen. Insbesondere wird die Planung in jedem Falle nur auf die Erreichung vorgegebener Projektziele ausgerichtet. Es gibt einige Ansätze, welche diesen Mangel zu beheben trachten; am bekanntesten darunter sind "Decision CPM", "GERT" ("Graphical Evaluation and Review Technique"), "GAN" ("Generalized Activity Networks") und die "DB"-Technik ("Decision Box Planning and Scheduling"). Die wichtigsten Erweiterungen, welche dadurch ins Spiel gebracht werden, sind in der Zulassung von auch ihrem Inhalte nach unsicheren Konsequenzen und in der Einführung sogenannter disjunktiver Kanten in die Netzpläne zu erblicken. Gehen von einem Knoten eines Graphen mehrere disjunktive Kanten aus, so wird davon zuletzt nur eine ausgewählt. Disjunktive Kanten verkörpern somit Varianten einer Entscheidung, sei es des Aktors, eines anderen Spielers oder der Natur. Typisch für die zuvor behandelten Netzplantechniken ist demgegenüber, dass die entsprechenden Graphen aus lauter konjunktiven Kanten bestehen. Diese stellen Vorgänge dar, die kumulativ stattfinden müssen, damit der End-

knoten - das Projektziel - erreicht wird. Die üblichen Netzpläne sind also Abbildungen bereits getroffener Entscheidungen. Netzpläne, die auf Grund der zuletzt erwähnten Verfahren aufgestellt wurden, gleichen dagegen den in den Abbildungen 1 bis 3, sowie 5 und 6 dargestellten Entscheidungs- und Spielbäumen; Unterschiede gehen vornehmlich auf verschiedene Darstellungsverfahren zurück. Dementsprechend werden auch "GAN"-, "DB"- und ähnliche Netzwerkformen für die Wahl zwischen verschiedenen möglichen Gesamtstrategien verwendet. Die betreffenden Verfahren sind jedoch (noch) weniger gut ausgebaut, als die in Kapitel 23.1 behandelten Methoden der allgemeinen Entscheidungstheorie zum Fällen von Sequentialentscheiden. Es erübrigt sich daher, im einzelnen auf sie einzutreten (47). Ihre Unterlegenheit gegenüber anderen Ansätzen dürfte auch der Grund dafür sein, dass sie sich bisher nicht durchgesetzt haben.

Anmerkungen zu den Kapiteln 243.1 und 243.2

1 Die graphentehoretische Terminologie ist leider noch nicht ganz einheitlich. Bei den vorangehenden Definitionen stützen wir uns vor allem auf:

Dörfler, W. und Mühlbacher, J.: Graphentheorie für Informatiker; Berlin 1973; S. 7 ff., 21 ff. und 39 ff.

Henn, R. und Künzi, H.P.: Einführung in die Unternehmensforschung, Band II; Berlin, Heidelberg, New York 1968; S. 138 ff.

Kaufmann, A., op.cit. (1964); S. 337 f.

Thumb, N., op.cit. (1968); S. 246 ff.

2 Einen guten Ueberblick über die wichtigsten Darstellungsverfahren vermittelt das Werk von Dörfler und Mühlbacher. Die beiden Autoren geben ausserdem auf den Seiten 61 ff. wertvolle Hinweise zur Speichertechnik beim Einsatz digitaler Rechenanlagen.

Dörfler, W. und Mühlbacher, J., op.cit. (1973).

3 Siehe auch:

Hildenbrand, W.: Anwendung der Graphentheorie auf Planungsprobleme; in: Henn, R. (Hrsg.): Operations Research Verfahren, Band V; Meisenheim 1968; S. 215.

4 Kaufmann, A., op.cit. (1964); S. 55 ff.

5 Zur Abschätzung der noch ungenützten Möglichkeiten kann hier lediglich auf einige Standardwerke der Graphentheorie hingewiesen werden:

Berge, C.: Théorie des graphes et ses applications; Paris 1963.

Berge, C.: Graphes et hypergraphes; Paris 1970.

Busacker, R.G. und Saaty, T.L.: Finite Graphs and Networks; New York 1965.

König, D.: Theorie der endlichen und unendlichen Graphen; Leipzig 1936.

6 Siehe auch:

Elmaghraby, S.E.: The Theory of Networks and Management Science, Teil I; in: Management Science, September 1970; S. 1 f.

7 Zur Uebersicht siehe etwa:

Wagner, H. M., op. cit. (1969); S. 165 ff., S. 213 ff., sowie S. A-3 ff.

8 Hitchcock, F. L.: Distribution of a Product from Several Sources to Numerous Localities; in: Journal of Mathematics and Physics, 1941; S. 224 ff.

9 Wagner, H. M., op. cit. (1969); S. 170 und S. 168.

10 Wagner, H. M., op. cit. (1969); S. 172 ff.

11 Ein Ueberblick über die Verfahren zur Lösung des Hitchcock-Problems und seiner Erweiterungen findet sich bei:

Grigoriadis, M. D. und Walker, W. F.: A Treatment of Transportation Problems by Primal Partition Programming; in: Management Science, Mai 1968; S. 565.

Ausführliche Darstellungen enthalten unter anderem:

Berge, C. und Ghouila-Houri, A.: Programming, Games and Transportation Networks; New York 1965.

Elmaghraby, S. E.: Some Network Models in Management Science; Berlin, Heidelberg, New York 1970.

12 Das "min-cut-max-flow"-Theorem besagt, dass der grösstmögliche Fluss durch ein Netzwerk der geringsten Schnittkapazität entspricht. Durch einen sogenannten Schnitt werden die Knoten eines Netzwerkes in zwei Teilmengen aufgespalten. Für Einzelheiten zum Theorem und zum Algorithmus von Ford und Fulkerson vgl. etwa:

Kaufmann, A., op. cit. (1964); S. 50 ff und S. 296 f.

13 Dörfler, W. und Mühlbacher, J., op. cit. (1973); S. 79 ff. (Für den Algorithmus von Kruskal ist auf S. 81 f. ein Fortran-Programm abgedruckt.)

Kaufmann, A., op. cit. (1964); S. 32 ff und S. 338 ff.

14 Zum Zuordnungs- oder Assignationsproblem, seinen Lösungsverfahren, sowie gewissen Erweiterungen, siehe vor allem:

Charnes, A., Cooper, W. W., Niehaus, R. J. und Stedry, A.: Static

and Dynamic Assignment Models with Multiple Objectives, and some remarks on Organization Design; in: Management Science, April 1969; S. B-365 ff.

Kaufmann, A., op.cit. (1964); S. 300 ff.

Miller, D.W. und Starr, M.K., op.cit. (1969); S. 249 ff.

15 Zum Problem des kürzesten Weges im allgemeinen vgl.:

Berge, C. und Ghouila-Houri, A., op.cit. (1965).

Busacker, R.G. und Saaty, T.L., op.cit. (1965).

Dreyfus, S.E.: An appraisal of some shortest-path algorithms; in: Operations Research 1969; S. 395 ff.

Elmaghraby, S.E., op.cit. (1970 b).

16 Siehe insbesondere:

Saksena, J.P. und Kumar, S.: The Routing Problem with 'K' Specified Nodes; in: Operations Research 1966; S. 909 ff.

17 Saigal, R.: A Constrained Shortest Route Problem; in: Operations Research 1968; S. 205 ff.

18 Siehe zum Beispiel:

Dreyfus, S.E., op.cit. (1969); S. 404.

Pollack, M.: The k-th best route through a network; in: Operations Research 1961; S. 578 ff.

19 Vgl. etwa:

Hu, T.C.: A Decomposition Algorithm for Shortest Paths in a Network; in: Operations Research 1968; S. 91 ff.

Mills, G.: A Decomposition Algorithm for the Shortest-Route Problem; in: Operations Research 1966; S. 279 ff.

20 Zum Handelsreisendenproblem siehe:

Kaufmann, A., op.cit. (1964); S. 305 ff.

Mensch, G.: Ein Progressions-Graphen-Modell für das Botenproblem; in: ZfB 1969; S. 39 ff.

Pfluger, P. : Diskussion der Modellwahl am Beispiel des Travelling-Salesman Problems; in: Weinberg, F. (Hrsg.): Einführung in die Methode Branch and Bound; Berlin, Heidelberg, New York 1968; S. 88 ff.

Rothkopf, M. : The Travelling Salesman Problem: on the Reduction of certain large problems to smaller ones; in: Operations Research 1966; S. 532 f.

Wagner, H., op.cit. (1969); S. 184 und S. 454 ff.

21 Zu den Reihenfolgeproblemen vgl. :

Conway, R.W., Maxwell, W.L. und Miller, L.W. : Theory of Scheduling; Reading 1967. Diese drei Autoren führen eine Strukturierung der Reihenfolgeprobleme ein, wie sie ähnlich seit längerer Zeit für die Warteschlangenprobleme besteht. Sie verwenden dafür die folgenden vier Gliederungskriterien: Art des Eintreffens neuer Aufträge; Anzahl Maschinen; Arbeitsfluss (vorgegeben oder frei, bezogen auf den einzelnen Auftrag); Zielgrösse, die zu maximieren oder zu minimieren ist (zum Beispiel: gesamte Durchflusszeit, totale Verspätung gegenüber den Lieferterminen, etc.).

Escher, G. : Das Maschinenbelegungs-Problem; in: Weinberg, F. und Zehnder, C.A. (Hrsg.): Heuristische Planungsmethoden; Berlin, Heidelberg, New York 1969; S. 39 ff.

Giglio, R.J. und Wagner, H.M. : Approximate Solutions to the three-machine Scheduling Problem; in: Operations Research 1964; S. 305 ff.

Klaus, G., op.cit. (1969); S. 2 f.

22 Vollständigkeitshalber sei darauf hingewiesen, dass es Ansätze gibt, bei denen die Kanten des Graphen ausschliesslich mit Wahrscheinlichkeiten bewertet werden. Diese drücken die Zuverlässigkeit der betreffenden Verbindungen als solche aus. Analog zum Problem des längsten Weges kann so die am ehesten zum Ziel führende Route durch ein Netzwerk ermittelt werden. Siehe etwa:

Shorack, G.R. : Algorithms and Analog Computers for the Most Reliable Route through a Network; in: Operations Research 1964; S. 632 f.

23 Zur Frage der Erfassbarkeit vektorieller Varianten in Netzwerkmodellen vgl. auch:

Thumb, N., op.cit. (1968); S. 304.

Wagner, H.M., op.cit. (1969); S. 168 f. und S. 194 f.

24 Vgl. unsere entsprechenden Bemerkungen im Zusammenhange mit der Differentialrechnung in Kapitel 2.2.

25 Siehe Wagner, H.M., op.cit. (1969); S. 167 f., S. 192 und S. 225 f.

26 Klingman, D., Napier, A. und Stutz, J., op.cit. (1974).

27 Beer, S., op.cit. (1966); S. 218.

Kaufmann, A., op.cit. (1964); S. 259.

28 Auf die verschiedenen Verfahren der Netzplantechnik treten wir im folgenden nur insoweit ein, als ihre Unterschiede von den Zielen dieser Arbeit her gesehen von Bedeutung sind. Uebersichten finden sich beispielsweise bei Robert W. Miller, sowie - ausführlicher - bei Norbert Thumb.

Miller, R.W., op.cit. (1963).

Thumb, N., op.cit. (1968).

29 Für Einzelheiten siehe etwa:

Clark, C.E.: The PERT Model for the Distribution of an Activity Time; in: Operations Research 1962; S. 405 f.

Latterner, C.G., Dresdner, D.M., Spiech, J.A. und Uslan, G.M.: Programmierte Einführung in PERT; München 1966; S. 49 ff.

Thumb, N., op.cit. (1968); S. 195 ff.

30 Als "klassische" Kritik gilt diejenige von MacCrimmon und Ryavec:

MacCrimmon, K.R. und Ryavec, C.A.: An Analytical Study of the PERT Assumptions; in: Operations Research 1964; S. 16 ff.

Vgl. ferner:

Elmaghraby, S.E.: The Theory of Networks and Management Science, Teil II; in: Management Science, Oktober 1970; S. 57 ff.

Thumb, N., op.cit. (1968); S. 212 ff.

31 Welsh, D.J.A.: Super-Critical Arcs of a PERT Network; in: Operations

Research 1966; S. 173 f.

32 Van Slyke, R.M. : Monte Carlo Methods and the PERT Problem; in: Operations Research 1963; S. 839 ff.

33 UNIVAC: Planung mit PERT und CPM - Netzplantechnik; Zürich, ohne Datum; S. 28.

34 Abernathy, W.J. und Rosenbloom, R.S. : Parallel Strategies in Development Projects; in: Management Science, Juni 1969; S. B-486 ff.

35 Clark, C.E. : Comments on the Preceding Paper; in: Operations Research 1961; S. 348 f.

Thumb, N., op.cit. (1968); S. 238 ff.

36 Siehe etwa:

Miller, R.W.,op.cit. (1963); S. 127 f.

Thumb, N., op.cit. (1968); S. 325.

37 Miller, R.W., op.cit. (1963); S. 16.

38 Siehe zum Beispiel Thumb, N., op.cit. (1968); S. 23 und S. 30 f.

39 Zu den verschiedenen Kostenreduzierungs- und Optimierungsverfahren vgl. :

Hax, H., op.cit. (1974); S. 189 f.

Elmaghraby, S.E., op.cit. (1970 c); S. B-61.

Hildenbrand, W., op.cit. (1968); S. 216 ff.

Laue, H.J. : Efficient Methods for the Allocation of Resources in Project Networks; in: Unternehmungsforschung 1968; S. 134 ff.

Miller, R.W., op.cit. (1963); S. 122.

Sicard, P. : Pratique du PERT; Paris 1967; S. 70 f.

Thumb, N., op.cit. (1968); S. 22, S. 106 ff., S. 223 ff. und S. 257 f.

UNIVAC, op.cit. (ohne Datum); S. 43.

40 Zur Glättung der Beschäftigung siehe:

Laue, H. J., op. cit. (1968): S. 139 f.

Thumb, N., op. cit. (1968): S. 152 ff.

41 Siehe zum Beispiel:

Hartung, L. P.: A Dynamic Project Control Method. In: Stilian, G. N. et al. (Hrsg.): PERT - A New Management Planning and Control Technique; New York 1962; S. 110 f.

Latterner, C. G. et al., op. cit. (1966): S. 122.

42 Laue, H. J., op. cit. (1968): S. 140 ff.

Sicard, P., op. cit. (1967): S. 72 f.

Thumb, N., op. cit. (1968): S. 155 ff.

43 Siehe Anmerkung 41 zu Teil 1 der Arbeit.

44 Siehe etwa:

Cosimuke, W.: The Critical Path Method. In: Stilian, G. N. et al., op. cit. (1962): S. 158.

Latterner, C. G. et al., op. cit. (1966): S. 117.

Miller, R. W., op. cit. (1963): S. 74.

Sicard, P., op. cit. (1967): S. 25.

Thumb, N., op. cit. (1968): S. 24.

45 Francis, H. G.: Practical Advice for the Use of PERT. In: Stilian, G. N. et al., op. cit. (1962): S. 127.

Hartung, L. P., op. cit. (1962): S. 105 f.

Thumb, N., op. cit. (1968): S. 49 f. und S. 358.

46 Miller, R. W., op. cit. (1963): S. 82 ff.

Thumb, N., op. cit. (1968): S. 286 ff. und S. 341 ff.

47 Es sei stattdessen hier auf die Literatur verwiesen:

Crowston, W. and Thompson, G. L.: Decision CPM: A Method for

Simultaneous Planning, Scheduling, and Control of Projects; in: Operations Research 1967; S. 407 ff.

Eisner, H.: A Generalized Network Approach to the Planning and Scheduling of a Research Project; in: Operations Research 1962; S. 115 ff.

Elmaghraby, S.E., op.cit. (1970 c); S. B-62 ff.

Thumb, N., op.cit. (1968); S. 279 ff. und S. 303 ff.

24.4 Die dynamische Programmierung (1)

Den Grundgedanken der dynamischen Programmierung haben wir bereits im Zusammenhang mit der Rollback-Analyse dargelegt (vgl. Kapitel 23.1). Er beruht auf dem Bellmanschen Optimalitätsprinzip und besteht in der schrittweisen Ermittlung des Gesamtoptimums aus Teiloptima. Im Unterschied zu den Veröffentlichungen über das Rollback-Verfahren wird in der Literatur zur dynamischen Programmierung die Unabhängigkeit der verschiedenen Entscheidstufen voneinander fast immer ausdrücklich angenommen. Dies erfolgt durch die Einführung einer Vektorvariablen, deren konkrete Werte die Lage während jeder Phase einer Verhaltenssequenz für den Aktor umfassend beschreiben. Das bedeutet, dass die Kenntnis der Lage genügt, um die möglichen Auswirkungen der verschiedenen Varianten vorauszusagen und zu bewerten. Insbesondere braucht man dafür nicht zusätzlich zu wissen, wie die betreffende Lage zustandegekommen ist, oder, anders ausgedrückt, welche "Vorgeschichte" zu ihr geführt hat. (2)

Ist das Vorgehen zur Ermittlung des Optimums bei der Rollback-Analyse und bei der dynamischen Programmierung auch im wesentlichen dasselbe, so wurde es doch im Rahmen der letzteren stark verallgemeinert und mit weit leistungsfähigeren Techniken in die Tat umgesetzt. Es ist insbesondere nicht erforderlich, vielmehr sogar viel zu umständlich, das Problem zunächst in der Form eines Graphen geometrisch darzustellen, wie dies beim Rollback-Verfahren getan wird. Ausschlaggebend ist im Grunde nur, dass sich das Optimum Schritt für Schritt nach dem Rekursionsprinzip herleiten lässt. Da hiebei stets wieder dieselben Operationen durchzuführen sind, eignet sich das Vorgehensschema gut zur Programmierung für einen Rechenautomaten. Im Gegensatz zu einer im Zusammenhang mit Rollback-Analyse und dynamischer Programmierung häufig vertretenen Ansicht bedeutet übrigens das Prinzip der Rekursion keineswegs, dass die Optimierung von den Endzuständen des Problems zu den Anfangszuständen hin zu erfolgen hat. Dies trifft aus materiellen Gründen im Falle

von Spielen gegen die Natur zwar zu; bei der Lösung deterministischer Probleme kann hingegen sowohl "rückwärts" als auch "vorwärts" vorgegangen werden (3).

Einen wichtigen Vorteil, den die dynamische Programmierung mit dem Rollback-Verfahren gemeinsam hat, haben wir ebenfalls schon in Kapitel 23.1 erläutert. Er besteht darin, dass zur Ermittlung des Optimums nur ein Teil aller Möglichkeiten untersucht werden muss. Dieser Vorteil im Vergleich zu Enumerationsverfahren ist umso grösser, je mehr Stufen das Entscheidungsproblem umfasst. Er bedeutet auch, dass der Aktor, beziehungsweise sein Computer von allen miteinander verglichenen Teillösungen jeweils lediglich die beste zu speichern braucht, da nur diese für die weiteren Verfahrensschritte noch benötigt wird. (4)

Ein weiterer Vorzug der dynamischen Programmierung ist im äusserst breiten Spektrum von Problemtypen zu erblicken, auf die sie sich anwenden lässt. Dazu zählen sowohl deterministische wie stochastische, diskrete wie kontinuierliche, lineare wie nichtlineare Probleme. Unter gewissen Voraussetzungen können schliesslich auch Fälle gelöst werden, in denen die Anzahl der aufeinander folgenden Einzelentscheide, beziehungsweise der Zeithorizont nicht begrenzt ist. Zur Behandlung einiger der genannten Problemgattungen durch die dynamische Programmierung sind einige zusätzliche Angaben angebracht.

Anders als bei anderen Verfahren der mathematischen Programmierung fällt die Lösung eines stochastischen Optimierungsproblems mit Hilfe der dynamischen Programmierung nicht wesentlich schwerer als die Lösung eines vergleichbaren deterministischen Problems. Allerdings wird mit Markoff-Entscheidungsprozessen erster Ordnung als Zufallsprozessen gerechnet. Das ergibt sich aus der allgemeinen Annahme der Unabhängigkeit der einzelnen Entscheidstufen. Es bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines be-

stimmten Folgezustandes l_f auf der Stufe k des Entscheidungsprozesses nur davon abhängt, welche Ausgangslage l_e auf der vorangehenden Stufe k-1 herrscht und welche Variante v_m dabei zur Anwendung gelangt, nicht jedoch von den Lagen, die vor l_e geherrscht haben und den Varianten, die dabei zur Anwendung gekommen sind. Symbolisch lässt sich diese Wahrscheinlichkeit somit analog wie beim Einzelentscheid ausdrücken als

$$p(l_{f,k} \mid l_{e,k-1}, v_{m,k-1});$$

eine Bedingtheit bezüglich der "Vorgeschichte", wie sie etwa mit der Schreibweise

$$p(l_{f,k} \mid l_{e,k-1}, v_{m,k-1}, l_{d,k-2}, v_{n,k-2}, \ldots l_{b,1}, v_{q,1}, l_{a,0}, v_{r,0})$$

wiederzugeben wäre, besteht nicht. (5)

In einigen Anwendungen der dynamischen Programmierung auf stochastische Probleme wird nicht nur mit jeweils verschiedenen möglichen Folgezuständen gerechnet, sondern auch damit, dass die Zeit bis zu deren Eintritt keine feste Grösse ist. Man stützt sich deshalb auf den Erwartungswert der Dauer; die Verbindung zwischen diesem und der Bewertung des Prozesses wird über den Abzinsungssatz hergestellt (6). Liegt ein Fall von stochastischer Unsicherheit vor und verhält sich der Aktor nicht risikoneutral, so ist freilich das Rechnen mit Erwartungswerten von anderen Grössen als dem Nutzen nicht zulässig. Die Sachlage kompliziert sich dann stark: Zunächst sind pro Variante alle möglichen Kombinationen verschiedener Folgezustände und unterschiedlicher Fristen bis zu ihrem Eintritt zusammenzustellen und die Wahrscheinlichkeiten dieser verbundenen Ereignisse zu ermitteln. Die Werte dieser verschiedenen möglichen Prozessentwicklungen sind sodann, ihren unterschiedlichen Fristen entsprechend, abzuzinsen. Schliesslich ist der erwartete Nutzen (nach Neumann und Morgenstern) der so erhaltenen Lotterie von Barwerten zu bestimmen. Dieser bildet dann das Optimierungskriterium für die dynamische Programmierung. An deren Anwendbarkeit ändert sich dadurch grundsätzlich nichts; die benötigten

Informationen werden allerdings in vielen Fällen nicht zu beschaffen sein. (7)

Ein sequentielles Entscheidungsproblem kann in verschiedener Hinsicht kontinuierliche Züge aufweisen: Sowohl die Entscheidungsvariablen als auch die Lagevariablen können beliebig kleine Veränderungen zulassen; zudem kann ein Entscheid in jedem Punkt eines bestimmten Zeitintervalls möglich sein. Die beiden erstgenannten Gegebenheiten sind in betriebswirtschaftlichen Zusammenhängen selten anzutreffen; wir haben darauf bereits bei der Behandlung der Differentialrechnung hingewiesen (vgl. Kapitel 2.2). Die dritte Möglichkeit dürfte hingegen strenggenommen sehr oft gegeben sein, wenn sie auch fast immer vernachlässigt wird. Ein Beispiel dafür, das allgemein bekannt ist, stellt die Wahl von Bestellzeitpunkten dar, falls Bestellungen nicht nur zu diskreten Terminen zulässig sind. Die dynamische Programmierung kann prinzipiell bei jeder der genannten Formen von Kontinuität zum Einsatz kommen; indessen ergeben sich bei praktischen Anwendungen oftmals Schwierigkeiten, derentwegen zu einer künstlichen Diskretisierung Zuflucht genommen wird. (8)

Anderen mathematischen Optimierungsverfahren gegenüber zeichnet sich die dynamische Programmierung auch dadurch aus, dass Zielfunktion und Einschränkungen ohne weiteres nichtlinear sein dürfen, dass Ganzzahligkeitsbedingungen eingehalten werden können, dass selbst bei Funktionen mit mehreren Extremstellen stets das absolute Maximum oder Minimum aufgefunden wird. Diese und weitere angenehme Eigenschaften der dynamischen Programmierung gehen auf den Umstand zurück, dass mit Tabellen von Argumenten und Werten gearbeitet wird und man deswegen nicht darauf angewiesen ist, die verschiedenen Zusammenhänge mit Formeln zu erfassen. (9)

Ist sich ein Aktor der Abhängigkeiten bewusst, welche zwischen dem festzulegenden, unmittelbar folgenden Verhalten und zahlreichen späteren Entscheidungen bestehen, so wird er trotzdem häufig nicht in der Lage sein, ein Ende dieser Kette anzugeben. Man bedenke, dass beispielsweise die meisten Unterneh-

mungen nicht mit Blick auf einen bestimmten Auflösungstermin gegründet und betrieben werden. Obwohl streng mathematisch hier nicht von Unbegrenztheit gesprochen werden kann, bezeichnet man in der dynamischen Programmierung entsprechende Fälle als Entscheidungen mit unbegrenzter Stufenzahl, beziehungsweise unbegrenztem Zeithorizont. Voraussetzung ihrer Lösbarkeit ist, in einem Wort zusammengefasst, Problemkonstanz. Das bedeutet im einfachsten Falle, dass alle Problemparameter während der gesamten, unabsehbaren Zeitdauer unverändert bestehen bleiben: Zu allen Entscheidungszeitpunkten stehen dieselben Varianten zur Wahl, die, auf dieselben Ausgangszustände angewandt, mit denselben Wahrscheinlichkeiten zu denselben Folgezuständen führen können, wobei dieselben Uebergänge stets gleich bewertet werden. Diese extreme Annahme kann noch etwas gelockert werden; so lassen sich auch Fälle lösen, in denen sich die genannten Grössen zyklisch verändern.

Auch bei unbeschränkt lange andauernden Prozessen kann der zu erwartende Gesamtnutzen begrenzt sein. Häufigste Ursache dafür ist die Abzinsung der zukünftigen Konsequenzenwerte. Die optimale Strategie maximiert dann den erwarteten Barwert. Gibt es hingegen keinen Grenzwert für den Konsequenzenfluss der Entscheidketten, so wird auf den zu erwartenden, durchschnittlichen Wert pro Uebergang abgestellt, der sich bei Anwendung der verschiedenen Strategien ergeben würde.

Wegen der vorausgesetzten, strengen oder gelockerten Problemkonstanz wird eine optimale Strategie in kürzeren oder längeren Abständen immer wieder dieselben Verhaltensweisen vorsehen. Im Falle eines einfachen Ersatzproblems kann das Optimum etwa darin bestehen, eine bestimmte Maschine stets nach einer festen Anzahl von Betriebsstunden durch ein neues Aggregat desselben Typs auszuwechseln. Sind Strategien solchermassen durch eine mehr oder weniger weitgehende Konstanz gekennzeichnet, so rechtfertigt es sich unseres Erachtens, in diesen besonderen Fällen von "Politiken" zu sprechen, wie dies in der dynamischen Programmierung zum Teil getan wird (10).

Die verbreitetsten Verfahren zur Ermittlung des Optimums bei Sequenzen mit unbeschränkter Stufenzahl oder unbegrenztem Zeithorizont sind die auf Bellman zurückgehende, klassische Wert-Iteration der dynamischen Programmierung und die Politik-Iteration, die ihres Schöpfers wegen oft auch als Howard-Algorithmus bezeichnet wird. Beide Methoden beruhen auf dem Prinzip der schrittweisen Annäherung an das Optimum. Im ersten Falle wird ein Ausgangswert der Zielfunktion, im zweiten eine mehr oder minder willkürlich gewählte Strategie sukzessive verbessert. Eine Hauptfrage bei der Beurteilung aller Approximationsverfahren besteht darin, ob die laufenden Anpassungen schliesslich zum Optimum führen. Unter den skizzierten Voraussetzungen ist sowohl bei der Wert-Iteration wie beim Howard-Algorithmus die Konvergenz garantiert. Nur bei der Politik-Iteration von Howard wird sie jedoch mit Sicherheit in endlich vielen Rechenschritten erreicht und nur bei dieser Methode ist auch mit Bestimmtheit das Optimum bereits gefunden, wenn zwei aufeinanderfolgende Lösungsschritte zum selben Ergebnis geführt haben. Die Wert-Iteration eignet sich ferner nur für diskrete Probleme; andererseits ist der Aufwand für jeden Approximationsschritt bei ihr wesentlich geringer als bei der Politik-Iteration.

Zum Abschluss der Ausführungen über den Einsatz der dynamischen Programmierung bei unbegrenzten Entscheidsequenzen sind einige Bemerkungen zur Annahme der Problemkonstanz angebracht. Natürlich ist diese in der Wirklichkeit über die betrachteten, sehr langen Zeiträume hinweg wohl niemals gegeben. Selbst wenn im Maschinenersatzbeispiel in der ersten Zeit tatsächlich stets nur dieselben Varianten offenstehen sollten, so werden früher oder später doch andere Maschinen im Angebot erscheinen, bisherige Typen vom Markt verschwinden. Lassen sich diese Veränderungen ihrem Inhalte nach nicht voraussehen, so ist es aber immer noch besser, Problemkonstanz zu unterstellen und weiterhin mit entsprechenden Ersatznotwendigkeiten zu rechnen, als die Augen vor der Zukunft zu verschliessen. Es ist ferner darauf hinzuweisen, dass die Ermittlung der optimalen Strategie im unbegrenzten Falle einfacher ist als im

begrenzten. Man kann sich diese Tatsache zunutze machen, indem man eine Gesamtsequenz, bei der sehr zahlreiche Entscheide zu treffen sind, in Teilsequenzen aufspaltet, während deren Dauer Problemkonstanz herrscht und indem man für diese Teilsequenzen einzeln die optimalen Strategien unter der fiktiven Annahme der Unbegrenztheit bestimmt. Das führt strenggenommen nicht zum Gesamtoptimum. Es hängt von der zu erwartenden Nutzenverringerung im Einzelfalle ab, ob die Reduktion des Lösungsaufwandes diese Vereinfachung rechtfertigt. Gebiete, in denen dies häufig zutrifft, finden sich etwa in der Bestellungs- und in der Produktionsfeinplanung. (11)

Nachdem bisher vor allem das breite Spektrum der Anwendungsmöglichkeiten und weitere Vorzüge der dynamischen Programmierung zur Sprache gekommen sind, muss abschliessend auf ihren wichtigsten Mangel eingegangen werden. Trotz der Aufspaltung des Gesamtproblems in einzelne Stufen, trotz der laufenden Elimination unteroptimaler Teilstrategien und trotz Unabhängigkeitsannahme liegt er in der geringen Grösse der praktisch lösbaren Probleme. Wegen des bereits erwähnten Rechnens mit Tabellen von Argumenten und Werten können nur wenige Zustände und Varianten pro Stufe bewältigt werden, während andererseits die Anzahl der Stufen keine ausschlaggebende Rolle spielt. Konkret heisst dies, dass die Rechenzeit mit der Stufenzahl ungefähr proportional zunimmt, dass sie aber bei einem Problem, das einen zweidimensionalen Zustandsvektor (beziehungsweise zwei eindimensionale Zustandsvariablen) aufweist, hundert mal höher sein kann als bei einer eindimensionalen Zustandsvariablen! Als Faustregel kann gelten, dass Probleme mit maximal drei Zustands- und einer Entscheidungsvariablen (oder mit einer gleichwertigen anderen Zusammensetzung aus Zustands- und Entscheidungsvariablen) lösbar sind, wobei alle Variablen nur wenige mögliche Werte aufweisen dürfen. Es wird zwar in der Literatur häufig darauf hingewiesen, dass ein guter Analytiker dasselbe Problem rechentechnisch zuweilen wesentlich günstiger zu formulieren vermöge als ein weniger geschickter Kollege, wenn er die spezielle Problemstruktur auszunützen verstehe. Insbesondere sei oftmals mit einem

Zustandsvektor von niedrigerer Dimensionalität auszukommen, als es zunächst den Anschein mache. Das trifft sicher zu; um die Dinge ins rechte Licht zu rücken, sollte man aber doch wohl sagen, dass mit solchen "Tricks" ein an sich schon kleines Problem manchmal gerade um so viel kleiner gemacht werden kann, dass es eben noch zu bewältigen ist. Man muss ferner beispielsweise berücksichtigen, dass jede der Einschränkungen, wie sie in grossen Problemen, die mit der linearen Programmierung angegangen werden, zu Dutzenden, ja zu Hunderten vorkommen, eine Zustandsvariable, beziehungsweise eine Dimension des Zustandsvektors beansprucht! Es verwundert deshalb nicht, dass bislang auch Dekompositionsmethoden, die zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit der dynamischen Programmierung geschaffen wurden, keine grundlegenden Aenderungen herbeizuführen vermochten. (12)

Die meisten praktischen Anwendungen der dynamischen Programmierung bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt dürften Lagerhaltungs-, Ersatz- und Unterhaltsprobleme zum Gegenstand gehabt haben. Wenn dabei der Problemumfang notgedrungen immer recht klein, die einzelne Stufenentscheidung dementsprechend auch eher unbedeutend war, so sollte andererseits nicht übersehen werden, dass in der Wirklichkeit eine sehr grosse Zahl solcher Entscheide gefällt wird und gute Strategien deshalb trotzdem von grossem Nutzen sein können. (13)

Anmerkungen zu Kapitel 24.4

1 Die wichtigsten benutzten Werke zur dynamischen Programmierung sind:

Beckmann, M. J. : Dynamic Programming of Economic Decisions; Berlin, Heidelberg, New York 1968.

Bellman, R. : Dynamic Programming; Princeton 1962.

Bellman, R. und Dreyfus, S. : Applied Dynamic Programming; Princeton 1962.

Elsner, K. : Mehrstufige Produktionstheorie und dynamisches Programmieren; Meisenheim 1964.

Hadley, G. , op. cit. (1969).

Howard, R. A. : Dynamische Programmierung und Markov-Prozesse; Zürich 1965.

Howard, R. A. : Dynamic Programming; in: Clarkson, G. P. E. (Hrsg.): Managerial Economics; Harmondsworth, Baltimore, Ringwood 1968; S. 372 ff.

Kaufmann, A. und Cruon R. , op. cit. (1965).

Wagner, H. M. , op. cit. (1969); S. 253 ff. und S. 639 ff.

Wentzel, J. S. : Elemente der dynamischen Programmierung; München, Wien 1966.

Zschocke, D. : Die Behandlung von Entscheidungsproblemen mit Hilfe des Dynamischen Programmierens; in: Unternehmensforschung 1964; S. 101 ff.

2 Anstatt von "Lage" wird häufig von "Zustand" (englisch: "state") gesprochen. Der Begriff wird in der Literatur zur dynamischen Programmierung unseres Wissens stets nur in der hier zunächst ebenfalls verwendeten, indirekten Weise erklärt. Das ist nicht sehr hilfreich. Zudem führen die genannten Bezeichnungen leicht zu Verwechslungen mit entsprechenden Ausdrücken aus der Entscheidungstheorie. Den Umschreibungen und Anwendungsbeispielen nach zu schliessen, umfasst die "Lage" im Sinne der dynamischen Programmierung, entscheidungstheoretisch gesehen, einerseits die "Lage des Aktors", andererseits den "Zustand der Umwelt", beziehungsweise Informationen über die verschiedenen möglichen Zustände der Umwelt (je nachdem, ob Sicherheit oder Unsicherheit bezüglich des Verhaltens der Natur herrscht). Fasst man den Begriff so auf, dann treffen auch die folgenden Formulierungen der dynamischen Programmierung zu: Ausgangszu-

stand und gewählte Variante bestimmen den Folgezustand, beziehungsweise die möglichen Folgezustände. Aus diesen Grössen ergibt sich auch der unmittelbare Wert, der einer solchen Variantenwahl beizumessen wäre (siehe dazu auch Kaufmann, A. und Cruon, R., op.cit. (1965), S. 116). Zu diesem unmittelbaren Wert wäre nach dem Optimalitätsprinzip gegebenenfalls noch der Wert der optimalen Fortsetzung vom Folgezustand (beziehungsweise: der gewichtete Wert der optimalen Fortsetzungen von den möglichen Folgezuständen) aus hinzuzurechnen, um so den Gesamtwert eines entsprechenden Entscheides zu bestimmen.

3 Siehe auch:

Hadley, G., op.cit. (1969); S. 452 und S. 482.

Kaufmann, A., op.cit. (1964); S. 93 f. und S. 117.

4 Vgl. etwa:

Bellman, R. und Dreyfus, S., op.cit. (1962); S. 22 und S. 24.

Hadley, G., op.cit. (1969); S. 431 ff.

Kaufmann, A. und Cruon, R., op.cit. (1965); S. 25 ff. Seite 31 insbesondere enthält ein einfaches Zahlenbeispiel, das die Einsparungen hinsichtlich der Anzahl der nötigen Vergleiche veranschaulicht.

5 Zum Begriff des Markoff-Prozesses und zu den verschiedenen Formen solcher Zufallsprozesse vergleiche:

Behnke, H. und Tietz, H., op.cit. (1966); S. 374 f.

Kaufmann, A. und Cruon, R., op.cit. (1965); S. 164 ff.

Kemeny, J.C. und Snell, J.L.: Finite Markov Chains; New York 1960.

Springer, C.H., Herlihy, R.E., Mall, R.T. und Beggs, R.I.: Probabilistic Models; Homewood 1968; S. 87 ff.

Takacs, L.: Stochastische Prozesse; München, Wien 1966.

6 Siehe Wagner, H.M., op.cit. (1969); S. 745.

7 Das geschilderte Problem tritt natürlich nicht nur im Zusammenhange mit der dynamischen Programmierung auf; es wurde lediglich wegen der zuvor erwähnten Ansätze zur Berücksichtigung unsicherer Zeitdauern hier behandelt.

Beiläufig sei hier ferner darauf hingewiesen, dass bei Anwendung der dynamischen Programmierung oder auch der Rollback-Analyse nur die Werte der ersten Periodenentscheidung bis auf den ersten Realisierungszeitpunkt abgezinst werden, die Werte aller späteren Entscheidstufen hingegen lediglich bis zu den jeweiligen Stufenterminen. Das Optimalitätsprinzip führt ja dazu, dass die Barwerte der optimalen Teillösungen bei jedem Vorgehensschritt zu den unmittelbaren Ergebnissen der Varianten der folgenden Stufe geschlagen und mit diesen erneut abgezinst werden.

8 Zur Anwendung der dynamischen Programmierung auf kontinuierliche Probleme siehe u.a.:

Howard, R.A., op.cit. (1965); S. 89 ff.

Kaufmann, A., op.cit. (1964); S. 370 und S. 112.

Kaufmann, A. und Cruon, R., op.cit. (1965); S. 120.

Wagner, H.M., op.cit. (1969); S. 811 ff. und S. A-19.

9 Siehe auch:

Bellman, R. und Dreyfus, S., op.cit. (1962); S. 20.

Hadley, G., op.cit. (1969); S. 28.

Kaufmann, A., op.cit. (1964); S. 98 ff.

Wong, P.J.: A New Decomposition Procedure for Dynamic Programming; in: Operations Research 1970; S. 119 ff.

10 Siehe auch unsere entsprechenden Bemerkungen zur Terminologie in Kapitel 23.1.

11 Zum letzten Abschnitt siehe insbesondere:

Wagner, H.M., op.cit. (1969); S. 360.

Zu den Fällen mit unbegrenzter Stufenzahl, respektive unbegrenztem Zeithorizont im allgemeinen vgl.:

Beckmann, M.J., op.cit. (1968); S. 15 ff. und S. 48 ff.

Hadley, G., op.cit. (1969); S. 544 ff.

Howard, R.A., op.cit. (1965); S. 30 ff.

Jewell, W.S.: Markov-Renewal Programming. I: Formulation, Finite Return Models; in: Operations Research 1963; S. 938 ff.

Jewell, W.S.: Markov-Renewal Programming. II: Infinite Return Models, Example; in: Operations Research 1963; S. 949 ff.

Kaufmann, A., op.cit. (1964); S. 375 ff. und S. 442.

Kaufmann, A. und Cruon, R., op.cit. (1965); S. 74 ff., S. 122 f. und S. 136 ff.

Wagner, H.M., op.cit. (1969); S. 359 ff., S. 403 ff. und S. 739 ff.

12 Zu den rechentechnischen Schwierigkeiten bei der Anwendung der dynamischen Programmierung, sowie zu den Möglichkeiten ihrer Verringerung siehe:

Bellman, R. und Dreyfus, S., op.cit. (1962); S. 20 und S. 35 f.

Hadley, G., op.cit. (1969); S. 32, S. 436, S. 507 ff. und S. 519 ff.

Howard, R.A., op.cit. (1968 a); S. 412 f.

Lee, E.S. und Shaikh, M.A.: Optimal Production Planning by a Gradient Technique I. First Variations; in: Management Science, September 1969; S. 109 ff.

Wagner, H.M., op.cit. (1969); S. 254 f., S. 345, S. 718 f. und S. 763.

Wentzel, J.S., op.cit. (1966); S. 42.

Wong, P.J., op.cit. (1970); S. 119 ff.

Wong, P.J. + Luenberger, D.G.: Reducing the Memory Requirements of Dynamic Programming; in: Operations Research 1968; S. 1115 ff.

13 Siehe Wagner, H.M., op.cit. (1969); S. 255.

24.5 Die Methode "Branch-and-Bound"

Die zuvor behandelte dynamische Programmierung und das "Branch-and-Bound"-Verfahren weisen eine recht weitgehende innere Verwandtschaft auf. In beiden Fällen handelt es sich im Grunde nur um ein allgemeines Lösungsprinzip; die Einzelheiten der Anwendung auf verschiedene praktische Probleme können sich stark voneinander unterscheiden. Sowohl die dynamische Programmierung als auch "Branch-and-Bound" sind ferner als geschickte Suchverfahren anzusehen, mit denen das Optimum gefunden werden soll, ohne dass alle einzelnen Möglichkeiten miteinander verglichen werden müssen. Während jedoch bei der dynamischen Programmierung alle Möglichkeiten in irgend einer Form bereits aufgestellt sein müssen, trachtet "Branch-and-Bound" danach, dies zu vermeiden. Bildlich gesprochen, soll der Entscheidungsbaum stückweise konstruiert und stets nur an jenen Stellen und nur insoweit ergänzt werden, als mit dem Hinzufügen von Elementen noch Aussicht besteht, zur optimalen Gesamtlösung zu gelangen.

Im einzelnen lässt sich die grundsätzliche Vorgehensweise von "Branch-and-Bound" wie folgt beschreiben: Die Menge aller möglichen Verhaltensweisen wird in Teilmengen aufgespalten ("branch"). Bei sequentiellen Entscheidungsproblemen kann dies durch die auf der ersten Stufe offenstehenden Varianten erfolgen (1). Handelt es sich dabei beispielsweise um die beiden Varianten v_1 und v_2, so wird dadurch die Menge aller möglichen Strategien in die Teilmengen derjenigen Strategien gegliedert, welche mit v_1, beziehungsweise v_2 beginnen. Für jede dieser beiden Teilmengen ist die sogenannte Schranke ("bound") zu ermitteln. Darunter ist der Optimalwert zu verstehen, der von irgend einer der unter die betreffende Teilmenge fallenden, vorderhand noch nicht ausgearbeiteten Strategien theoretisch erreicht werden könnte. Eine der beiden Strategienmengen ist sodann weiter zu unterteilen; für die so erhaltenen Untermengen sind wiederum die Schrankenwerte zu bestimmen. Die Schranke einer Untermenge kann bestenfalls einen ebenso günstigen Wert aufweisen wie die Schran-

ke der Menge, aus der sie abgespalten wurde. Eine der erzeugten Untermengen wird wiederum aufgespalten und der Prozess des "branch" und "bound" wird zunächst fortgesetzt, bis eine erste konkrete Strategie erreicht ist, welche allen Problemvoraussetzungen entspricht und deshalb in die Tat umgesetzt werden könnte. Der Wert dieser Strategie wird mit den Schranken aller bisher nicht weiterverfolgter Teilmengen verglichen. Jede dieser Teilmengen, welche nicht einen günstigeren Schrankenwert als den Wert der realisierbaren Strategie aufweist, wird von den weiteren Untersuchungen ausgeschlossen, da sie höchstens noch eine ebenso gute Strategie enthalten könnte. Von den Strategienmengen mit günstigeren Schrankenwerten hingegen ist eine auszuwählen und in der geschilderten Weise nun ihrerseits weiter aufzuspalten. Der Prozess wird jedoch nur solange betrieben, als der Optimalwert der jeweils neu erzeugten Teilmenge nicht unter den Wert der schon erreichten Strategie fällt. Geschieht dies, so ist der eingeschlagene Weg zu verlassen und stattdessen mit der Unterteilung einer weiteren Strategienmenge zu beginnen, welche noch über einen günstigeren Schrankenwert verfügt. Handelt es sich bei der zuerst gefundenen Strategie nicht zufällig bereits um die Optimallösung, so wird man auf diese Weise früher oder später auf eine weitere Strategie stossen, die einen höheren Wert als die erste aufweist. Durch diesen verbesserten Wert fallen wiederum alle noch nicht vollständig untersuchten Teilmengen ausser Betracht, welche keinen günstigeren Schrankenwert besitzen. (2)

Der "Branch-and-Bound"-Prozess endet, wenn alle noch nicht analysierten Teilmengen den Wert einer bereits erreichten realisierbaren Strategie nicht mehr zu übertreffen vermögen. Die Methode führt, wenn das Optimierungsproblem überhaupt lösbar ist, früher oder später sicher zum Optimum. "Später" kann im Extremfall allerdings bedeuten "nach Untersuchung aller Strategien". Normalerweise werden jedoch viele Strategien durch eindeutig unteroptimale Teilmengen eliminiert, wenige Möglichkeiten müssen einzeln betrachtet werden. "Branch-and-Bound" wird deshalb oft auch "implizite" oder "partielle Enumeration" geheissen; wegen des Rücksprungs von bereits gefundenen Lösun-

gen zu Strategiemengen mit günstigeren Schranken findet sich ferner der englische Ausdruck "backtrack"-Verfahren (3).

Man stösst mit Hilfe des "Branch-and-Bound"-Verfahrens oftmals sehr rasch auf die optimale Strategie, braucht dann aber unverhältnismässig viel Zeit um festzustellen, dass es sich tatsächlich um das Optimum handelt, denn dazu müssen ja sämtliche Strategienmengen, die noch über einen günstigeren Schrankenwert verfügen, näher untersucht werden. Im Sinne der begrenzten Rationalität ist deshalb vorgeschlagen worden, sich mit einer Strategie zu begnügen, welche höchstens um einen festen Betrag E oder um einen Prozentsatz X vom Optimum abweicht (4). Die Schrankenwerte der noch nicht dominierten Strategienmengen zeigen an, wann diese Bedingung erfüllt ist. Einem anderen Vorschlag zufolge kann der Aktor auch eine maximale Zeitdauer T für die Lösungssuche vorsehen. Während der ersten Hälfte dieser Zeit könnte er versuchen, das eigentliche Optimum zu ermitteln. Gelingt ihm dies nicht, so könnte er sich für das nächste Viertel der Gesamtzeit vornehmen, eine Lösung zu finden, welche höchstens 5 % schlechter als das Optimum ist. Misslingt auch dies, so wäre ein weiteres Achtel von T auf die Suche nach einer um nicht mehr als 10 % vom Optimum entfernten Strategie zu verwenden, etc. (5). Solche Zeitgrenzen können gut auch in ein Computerprogramm eingebaut werden, das für eine reine Optimierung möglicherweise untragbare Laufzeiten verursachen würde.

Der Aufwand, der benötigt wird, um mittels "Branch-and-Bound" eine optimale oder eine im erwähnten Sinne begrenzt-suboptimale Lösung zu einem gegebenen Problem zu finden, lässt sich kaum verlässlich abschätzen. Er hängt unter anderem sehr stark davon ab, in welcher Reihenfolge die verschiedenen Strategienmengen untersucht werden. Bildlich gesprochen ist es Glückssache, ob man an einer günstigen oder an einer ungünstigen Stelle ansetzt, um die Nadel im Heuhaufen zu finden. Auch "Branch-and-Bound" kann keine allgemeingültigen Anweisungen für das beste Vorgehen geben. In den meisten früheren Anwendungen der Methode wurde die zuletzt erzeugte, nicht dominierte Teilmen-

ge als erste näher analysiert. Das hing jedoch vorwiegend mit der damals noch üblichen Magnetbandspeicherung zusammen. Häufig werden die Teilmengen auch in der Reihenfolge zunehmend schlechterer Schrankenwerte durchsucht. Es darf dabei aber nicht übersehen werden, dass die Schranken nur theoretische Optimalwerte darstellen und dass es sehr wohl möglich ist, dass eine Teilmenge mit einem weit schlechteren "bound" als eine andere dennoch eine weit bessere Einzellösung aufweist als die letztere. Im Gegensatz zu anderen hierarchischen Entscheidungstechniken, die wir in Kapitel 2.2 deswegen kritisiert haben, zieht "Branch-and-Bound" diese Möglichkeit ja ausdrücklich in Betracht: Eine Strategienmenge wird erst dann und nur dann in ihrer Gesamtheit verworfen, wenn eine Einzellösung gefunden wurde, die ihren Schrankenwert erreicht oder übertrifft.

In neuester Zeit sind im Zusammenhang mit Problemen der gemischt-ganzzahligen Programmierung gute Erfolge dadurch erzielt worden, dass die Lösungssuche statt durch eine der genannten Regeln durch (aprioristisch oder erfahrungsmässig begründete) Vermutungen des Aktors über die Güte der verschiedenen Variantenklassen gesteuert wurde (6). Solche Erfahrungen sind naturgemäss kaum zu verallgemeinern. "Branch-and-Bound" weist, was die Einzelheiten der Lösungssuche betrifft, stark heuristische Züge auf. Weil das Verfahren aber grundsätzlich stets zum Ziel führt, würden wir es insgesamt dennoch nicht als eine Heuristik bezeichnen.

Der wiederholte Hinweis, dass "Branch-and-Bound" bei gegebenen Voraussetzungen das Optimum immer zu identifizieren imstande ist, bezieht sich auf eine theoretische Eigenschaft dieses Verfahrens. Die tatsächliche, numerische Leistungsfähigkeit ist demgegenüber erheblich eingeschränkt. Wenn der Lösungsaufwand im Einzelfall auch stark von den erwähnten Zufallseinflüssen abhängt, so können zwei praktische Beispiele dennoch ein Bild von den Grössenordnungen jener Probleme vermitteln, die mit "Branch-and-Bound" zu bewältigen sind: es wurden damit Maschinenbelegungsprobleme mit 3 Maschinen und 10 Aufträ-

gen gelöst (7) und Handelsreisendenprobleme mit bis zu etwa 40 Städten können auf elektronischen Datenverarbeitungsanlagen noch mit vernünftigen Laufzeiten analysiert werden (8). Die letztere Angabe beruht allerdings auf besonders leistungsfähigen "Branch-and-Bound"-Algorithmen, welche die spezielle Struktur des Handelsreisendenproblems zu entwickeln gestattete.

Die Anwendbarkeit von "Branch-and-Bound" hängt davon ab, dass die Menge aller Problemlösungen in Teilmengen aufgespalten werden kann und dass sich für die Teilmengen Schrankenwerte angeben lassen. Aus praktischen Gründen ist ferner zu fordern, dass die Schrankenwerte ohne eine explizite Untersuchung der Einzellösungen ermittelt werden können. Die erste Voraussetzung ist bei Entscheidungssequenzen, die sich aus diskreten Varianten zusammensetzen, naturgemäss erfüllt. Sehr viel schwerer sind die beiden weiteren Bedingungen einzuhalten. Grundsätzlich ist dies nur dort möglich, wo der Entscheidungsbaum nach einem einheitlichen Bildungsgesetz erzeugt wird. So ist etwa bei statischen Maschinenbelegungsproblemen der gesamte Variantenvorrat bekannt und eine kombinatorische Regel gegeben, nach der alle zulässigen Strategien gebildet werden können. Allgemein kann bei Entscheidsequenzenproblemen aber nicht von so günstigen Voraussetzungen ausgegangen werden. Im Normalfall müssen die Strategievarianten vielmehr einzeln Stück für Stück zusammengestellt werden, wobei auf jeder Stufe neue Ueberlegungen über die möglichen Fortsetzungen und deren Konsequenzen erforderlich sind.

Zur Bestimmung der Schrankenwerte von Strategiengesamtheiten muss an das Bildungsgesetz des Entscheidungsbaumes angeknüpft werden. In den meisten Anwendungsbeispielen von "Branch-and-Bound" geschieht dies dadurch, dass das ganze Optimierungsproblem in der Form einer ganzzahligen oder gemischtganzzahligen Programmierungsaufgabe ausgedrückt wird. Ausgehend von dieser werden schrittweise Teilprobleme erzeugt, die leichter lösbar sind, weil es sich dabei um lineare Programmierungsprobleme handelt. Deren Auflösungen ergeben die Schrankenwerte der entsprechenden Strategienklassen. Dazu

ist einerseits zu bemerken, dass sich zwar grundsätzlich jedes kombinatorische Problem auch als ganzzahlige Programmierungsaufgabe formulieren lässt, dass dies für praktische Zwecke jedoch häufig viel zu aufwendig ist (9). Wo diese Einschränkung nicht zutrifft, kann andererseits immer noch die Kette der erzeugten linearen Programmierungsprobleme zu viel Zeit zur Lösung beanspruchen. Wann immer möglich sollten deshalb besondere Merkmale des konkreten Optimierungsproblems zu einem vereinfachten Vorgehen ausgenützt werden. Auf Vereinfachungen im Zusammenhang mit Handelsreisendenproblemen wurde bereits hingewiesen; stark erleichtern lässt sich die Optimierung auch dort, wo die Entscheidungsvariablen nur die Werte 0 oder 1 annehmen können (10). Im übrigen sind diese Möglichkeiten zu sehr vom Einzelfall abhängig, als dass sich hier eine umfassende Liste aufstellen liesse.

Es fällt schliesslich auf, dass sich die Anwendungen von "Branch-and-Bound" bis in die neueste Zeit stets auf deterministische Probleme bezogen. Das dürfte auf die bei Unsicherheit nochmals erheblich erschwerte Schrankenbestimmung zurückzuführen sein. Das optimale Verhalten in einem Spiel gegen die Natur festzulegen, verlangt nicht nur einen Schrankenwert für das günstigste, sondern auch einen solchen für das ungünstigste Ergebnis. Damit ist der kleine Vorteil verbunden, dass nun ganze Strategieklassen direkt miteinander verglichen und teilweise gleich von den weiteren Betrachtungen ausgeschlossen werden können. Dies trifft dann zu, wenn der "höhere" Schrankenwert einer Strategienmenge unter dem "tieferen" Wert einer anderen liegt und die erstere somit eindeutig dominiert wird. Trotz dieser Rationalisierungsmöglichkeit sind die mit "Branch-and-Bound"-Methoden bisher behandelten, stochastischen Probleme sehr viel kleiner als die zuvor erwähnten deterministischen (11); bei den letzteren wäre ein Arbeiten mit zwei Schrankenwerten zudem grundsätzlich ebenfalls denkbar; es scheint sich aber offenkundig nicht zu lohnen.

Anmerkungen zu Kapitel 24.5

1 "Branch-and-Bound" kann auch für Optimierungsprobleme eingesetzt werden, bei denen die Zeit keine Rolle spielt. Die folgenden Ausführungen besitzen nur für eigentliche Entscheidungssequenzen volle Gültigkeit. Es liegt ihnen ferner die Annahme sicherer Konsequenzen zugrunde. Auf diese werden wir noch zurückkommen.

2 Zu Prinzip und Anwendungsmöglichkeiten des "Branch-and-Bound"-Verfahrens siehe:

Balas, E.: A Note on the Branch-and-Bound Principle; in: Operations Research 1968; S. 442 ff. und S. 886.

Geoffrion, A.M. und Marsten, R.E.: Integer Programming Algorithms: A Framework and State-of-the-Art Survey; in: Management Science 1972; S. 465 ff.

Lawler, E. und Wood, D.: Branch-and-Bound Methods: A Survey; in: Operations Research 1966; S. 699 ff.

Lüder, K.: Zur Anwendung neuerer Algorithmen der ganzzahligen linearen Programmierung; in: ZfB 1969; S. 405 ff.

Mitten, L.G.: Branch-and-Bound Methods: General Formulation and Properties; in: Operations Research 1970; S. 24 ff.

Weinberg, F., op.cit. (1968).

3 John F. Pierce spricht auch von "kombinatorischer Programmierung" oder "zuverlässiger heuristischer Programmierung". Die Terminologie ist auch deshalb nicht eindeutig, weil die genannten Ausdrücke teilweise als Synonyme verwendet werden, bei anderen Autoren hingegen Ober- und Unterbegriffe darstellen. Wir werden hier nur von "Branch-and-Bound" sprechen und unter diesem meistverbreiteten Begriff alle Methoden verstehen, die auf dem zuvor geschilderten Prinzip beruhen.

Pierce, J.F.: Application of Combinatorial Programming to a Class of All-Zero-One Integer Programming Problems; in: Management Science, November 1968; S. 191 f.

4 Lawler, E. und Wood, D., op.cit. (1966); S. 713.

Runggaldier, W.: Verallgemeinerung auf gemischt-ganzzahlige Programmierung; in: Weinberg, F., op.cit. (1968); S. 110.

5 Lawler, D. und Wood, D., op.cit. (1966); S. 713.

6 Forrest, J.J.H., Hirst, J.P.H. und Tomlin, J.A.: Practical Solution of Large Mixed Integer Programming Problems with Umpire; in: Management Science, Januar 1974; S. 736 ff.

7 Ignall, E. und Schrage, L.: Application of the Branch-and-Bound-Technique to some Flow-Shop Scheduling Problems; in: Operations Research 1965; S. 400 ff.

8 Wagner, H.M., op.cit. (1969); S. 471 ff.

9 Siehe auch Wagner, H.M., op.cit. (1969); S. 447 f. und S. 450 ff.

10 Lawler, E. und Wood, D., op.cit. (1966); S. 707 ff.

Pierce, J.F., op.cit. (1968).

Wagner, H.M., op.cit. (1969); S. 471 ff. und S. 480 ff.

11 Satia und Lave lösen ein stationäres Entscheidsequenzenproblem, bei dem auf jeder Stufe dieselben beiden Varianten und die gleichen drei möglichen Folgezustände mit denselben Uebergangswahrscheinlichkeiten auftreten. Sie nehmen allerdings zusätzlich noch eine Unsicherheit hinsichtlich der Beobachtung der eingetretenen Zustände an.

Satia, J.K. und Lave, R.E.: Markovian Decision Processes with Probabilistic Observation of States; in: Management Science, September 1973; S. 1 ff.

24.6 Weitere Verfahren der mathematischen Programmierung

Wir haben bereits in Kapitel 2.2 darauf hingewiesen, dass die Strategienoptimierung keine grundsätzlich andere Aufgabe darstellt als die Optimierung mehrerer Variablenwerte in Problemen, bei denen die Zeit keine Rolle spielt. Es ist deshalb denkbar, dass sich gewisse Sequentialprobleme in den Modellformen der linearen, nichtlinearen, ganzzahligen oder stochastischen Programmierung ausdrücken und mit den entsprechenden Lösungsverfahren behandeln lassen. In einzelnen Fällen ist dies tatsächlich schon geschehen (1). Die genannten Modelle und die dazugehörenden Algorithmen setzen jedoch besondere Problemeigenschaften voraus, wie Linearität, Nichtnegativität, Konvexität, Sicherheit, usw. Diese können hier als bekannt angenommen werden. Sie führen einerseits zu teilweise beachtlich leistungsfähigen Lösungsverfahren (man denke etwa an den Simplex-Algorithmus), andererseits engen sie den Raum der möglichen Anwendungen stark ein. Für die uns interessierenden, dynamischen betriebswirtschaftlichen Problemstellungen ist dieser "Tausch" im allgemeinen nicht fruchtbar (2). Das zeigt sich beispielsweise daran, dass die dynamische Programmierung, trotz ihrer numerischen Schwächen, in diesem Rahmen die mit Abstand am meisten angewandte Optimierungsmethode darstellt (3). Es geht aber auch daraus hervor, dass die generellen Lösungsverfahren zu den genannten mathematischen Programmierungsmodellen sich dort, wo sie auf sequentielle Entscheidprobleme grundsätzlich zwar anwendbar wären, dennoch sehr oft als zu wenig leistungsfähig erweisen. Zur Lösung von Netzwerkproblemen etwa werden aus diesem Grunde anstelle des Simplex-Verfahrens meist noch effizientere, weil noch stärker auf deren spezielle Struktur zugeschnittene Algorithmen verwendet (4).

Zwei der Haupthindernisse, welche sich der Anwendung der in diesem Kapitel zusammengefassten, weiteren Verfahren der mathematischen Programmierung auf Entscheidsequenzenprobleme entgegenstellen, seien besonders er-

wähnt. Das erste besteht in einer allfälligen Abhängigkeit zwischen verschiedenen Prozessstufen (5). Die zweite, praktisch noch bedeutendere Schwierigkeit ist in den beschränkten Möglichkeiten zur Berücksichtigung der Unsicherheit zu sehen. Dazu stehen nur die parametrische Programmierung, die lineare Programmierung unter Ungewissheit, das "chance-constrained programming" und die stochastische Programmierung zur Verfügung. Die drei erstgenannten Methoden sind eher als Notlösungen zu bezeichnen: Die parametrische Programmierung stellt lediglich eine besondere Art der Sensibilitätsanalyse dar und ist, wegen des damit verbundenen Aufwandes, nur für ganz wenige variable Parameter praktikabel (6); die lineare Programmierung unter Ungewissheit nach Madansky geht entweder von der kaum je zutreffenden Annahme aus, der Aktor habe zu Beginn des Planungszeitraumes die Entscheidungen für sämtliche Prozessstufen endgültig zu fällen, und arbeitet deshalb mit Einschränkungen, die unter allen Umständen eingehalten werden müssen (zum Beispiel: Vermeidung des Konkursrisikos), oder aber sie rechnet zwar mit einer späteren Anpassungsmöglichkeit, plant diese aber nicht explizit ein, sondern berücksichtigt sie nur über entsprechende Kosten (7); "chance-constrained programming" nach Charnes und Cooper setzt höchstzulässige Wahrscheinlichkeiten für die Verletzung von Einschränkungen fest; diese sollen die Schwere der Konsequenzen solcher Ereignisse widerspiegeln, ihre Höhe wird aber nicht in einer entsprechenden Optimierungsrechnung bestimmt; zudem ist der Ansatz zufolge seines Rechenaufwandes bisher praktisch nicht für mehr als zweistufige Sequenzen zu verwenden (8). Was schliesslich die stochastische Programmierung betrifft, so stellt sie als einzige der vier Methoden eine theoretisch befriedigende Eventualplanung dar. Sie wandelt das stochastische Problem in ein deterministisches um, vergrössert es aber dabei stark, indem sie für jede mögliche Umweltentwicklung eine Optimierung durchführt. Das Problem des Lösungsaufwandes ist bei ihr deshalb besonders kritisch. (9)

Aus all den genannten Gründen sind Anwendungen dieser weiteren Verfahren der mathematischen Programmierung auf Sequentialprobleme bisher selten

geblieben (10). Obwohl es sich in anderen Zusammenhängen oftmals rechtfertigt, "die Wirklichkeit so zurechtzustutzen, bis sie in das Prokrustesbett der Rechentechnik passt", wie Dieter Schneider sich ausdrückt (11), ist dies bei Entscheidungssequenzen offenkundig selten der Fall. Hier dürfte der Zeitfaktor materiell doch eine wesentliche Rolle spielen: Ueberdeckt ein Problem eine längere Zeitspanne und zerfällt es dabei erst noch in mehrere Stufen, so weist es eher Nichtlinearitäten, Diskontinuitäten, Unstabilitäten, Zufallsschwankungen und weitere rechentechnische Unannehmlichkeiten auf als ein anderes, dessen Einflussgrössen sich alle auf denselben Zeitpunkt beziehen. Lässt es sich aber beispielsweise noch vertreten, einen eigentlich nichtlinearen Zusammenhang rechentechnischer Vorteile willen durch einen linearen Ausdruck anzunähern, so ist der Ausweg des Zurechtstutzens bald einmal nicht mehr legitim, wenn gleich mehrere Vereinfachungen vorgenommen werden müssten, um einen bestimmten Algorithmus anwendbar zu machen. Einerseits aber kennzeichnen sich die hier gestreiften Lösungsverfahren, wie erwähnt, allesamt durch zahlreiche Anwendungsvoraussetzungen; andererseits verstossen Sequentialprobleme aus den genannten Gründen oft gleichzeitig gegen mehrere dieser Bedingungen.

Anmerkungen zu Kapitel 24.6

1 Bereits erwähnt wurden im vorangehenden Kapitel entsprechende Anwendungen von "Branch-and-Bound", das als eine Lösungsmethodik der ganzzahligen und der gemischt-ganzzahligen Programmierung zu bezeichnen ist.

2 "Dynamisch" wird hier gleichbedeutend mit "zeitbezogen" verwendet.

3 Vgl. auch Lee, E.S. und Shaikh, M.A., op.cit. (1969); S. 109.

4 Siehe auch Wagner, H.M., op.cit. (1969); S. 62.

5 Siehe etwa die entsprechenden Bemerkungen von Martin Starr im Zusammenhang mit der linearen Programmierung:

Starr, M.K., op.cit. (1966); S. B-126 f.

6 Dinkelbach, W.: Sensitivitätsanalysen und parametrische Programmierung; Berlin, Heidelberg, New York 1969.

Rappaport, A., op.cit. (1970).

7 Madansky, A.: Linear Programming under Uncertainty; in: Grawes, R.L. und Wolfe, P. (Hrsg.): Recent Advances in Mathematical Programming; 1963; S. 103 ff.

Vgl. ferner:

Hax, H. und Laux, H., op.cit. (1972 b); S. 478 f.

Kall, P.: Der gegenwärtige Stand der stochastischen Programmierung; in: Unternehmensforschung 1968; S. 85.

Schneider, D., op.cit. (1972 a); S. 462 f.

8 Charnes, A. und Cooper, W.W.: Chance-Constrained Programming; in: Management Science 1959; S. 73 ff.

Charnes, A. und Cooper, W.W.: Deterministic Equivalents for Optimizing and Satisficing under Chance Constraints; in: Operations Research 1963; S. 18 ff.

Hax, H. und Laux, H., op.cit. (1972 a); S. 326.

Wagner, H.M., op.cit. (1969); S. 667 ff.

9 Sengupta, J.K., Tintner, G. und Millham, C.: On Some Theorems of Stochastic Linear Programming with Applications; in: Management Science, Oktober 1963; S. 143 ff.

Wagner, H.M., op.cit. (1969); S. 658 ff. und S. 678 ff.

10 Ein deterministisches Problem über einen unbegrenzten Horizont behandelt Wagner. Cyrus Derman gibt ein Verfahren zur Umwandlung von Problemen aus der Domäne der dynamischen Programmierung in Probleme der linearen Programmierung an und ermittelt die optimale Politik in einem stochastischen, konstanten Problem. Alan Manne, sowie Wolfe und Dantzig wenden die lineare Programmierung auf dieselbe Fragestellung an, während Morton Klein, sowie Derman und Klein mit der gleichen Methodik das schwierigere Problem der Optimierung bei einem endlichen Horizont zu bewältigen vermögen.

Derman, C.: On Sequential Decisions and Markov Chains; in: Management Science 1962; S. 16 ff.

Derman, C. und Klein, M.: Some Remarks on Finite Horizon Markovian Decision Models; in: Operations Research 1965; S. 272 ff.

Klein, M.: Markovian Decision Models for Reject Allowance Problems; in: Management Science 1966; S. 349 ff

Manne, A.S.: Linear Programming and Sequential Decisions; in: Management Science 1960; S. 259 ff.

Wagner, H.M., op.cit. (1969); S. 426 ff.

Wolfe, P. und Dantzig, G.B.: Linear Programming in a Markov Chain; in: Operations Research 1962; S. 702 ff.

11 Schneider, D., op.cit. (1972 a); S. 471.

24.7 Die Simulation

Ungenügende numerische Leistungsfähigkeit und/oder allzu spezielle Anforderungen an die Problemstruktur gehören zu den wichtigsten Mängeln der bisher behandelten Ansätze zur Festlegung von Verhaltenssequenzen. Zu den am häufigsten genannten Vorzügen der Simulation aber zählt die Fähigkeit, mit ihrer Hilfe wesentlich kompliziertere Zusammenhänge zu untersuchen, als dies mit analytischen Verfahren möglich ist. Häufig wird ferner bei Simulationen nur eine Stichprobe aller Möglichkeiten untersucht, wodurch der Aufwand ceteris paribus gesenkt wird (1). Man könnte daher erwarten, dass die Simulation eines der am häufigsten verwendeten Mittel zur Behandlung sequentieller Entscheidungsprobleme darstellt. Dem ist nicht so. Zwar erstrecken sich bekanntgewordene Anwendungen über fast alle Bereiche der Unternehmung, doch sie betreffen einige wenige, verhältnismässig einfache Problemstellungen.

Viele dieser Simulationen beziehen sich auf Reihenfolge- und Terminierungsprobleme. Sind diese statischer Natur, so werden verschiedene mögliche Anordnungen der vorliegenden Komponenten "durchgespielt" und hinsichtlich ihrer Konsequenzen miteinander verglichen (2). Handelt es sich dagegen um dynamische Probleme, so untersucht man üblicherweise die Auswirkungen verschiedener Prioritätsregeln bei stochastischen Verhältnissen. Sind mehrere Faktoren unsicher (zum Beispiel sowohl der Auftragsanfall als auch die Bearbeitungszeit), dann erweist sich die erwähnte Eignung der Simulation zur Durchleuchtung komplizierter Verhältnisse oft als ausschlaggebend: nur einfache Kombinationen theoretisch wohlbekannter Wahrscheinlichkeitsverteilungen (etwa Poissonverteilte "Ankünfte" und exponentiell verteilte Bearbeitungszeiten) lassen sich mit analytischen Verfahren untersuchen; in allen schwierigeren und aufwendigen Fällen stellen, wie die Warteschlangentheorie zeigt, Simulationen vorderhand den einzigen allenfalls gangbaren Weg dar (3).

Am Beispiel der Reihenfolge- und Terminierungsprobleme zeigen sich bereits die beiden Grundformen der Verwendung von Simulationsverfahren in unserem

Zusammenhange: Es werden entweder Strategien (häufig Politiken) oder aber Entscheidungsverfahren nach den Ergebnissen untersucht, die bei ihrer Anwendung zu erwarten wären. Diese Unterscheidung durchzieht auch die weiteren veröffentlichten Beispiele von Simulationen im Falle von sequentiellen Problemlagen, welche namentlich aus den Gebieten der Lagerbewirtschaftung, der Investition, der Kapazitäts- und Einsatzplanung, des Unterhalts, der Warenverteilung und der Absatzförderung stammen (4). Schliesslich können auch die verschiedenen Unternehmungsmodelle, ein weiteres wichtiges Anwendungsgebiet der Simulationstechnik, unter diesem Gesichtswinkel gesehen werden: Unterschiedliche Eingabebedingungen lösen hier teils dieselben, teils verschiedene Massnahmensequenzen aus, je nachdem, ob feste Ablaufformen oder Entscheidungsmodelle in das Unternehmungsmodell eingebaut wurden (wobei die meisten Modelle beide Konstruktionsmerkmale nebeneinander aufweisen). (5)

Fragt man sich, weshalb die Zahl von Anwendungen der Simulation auf sequentielle Entscheidungsprobleme bis heute verhältnismässig klein geblieben ist, so lassen sich dafür zunächst allgemeine mit dieser Methode verbundene Schwierigkeiten ins Feld führen (1). Insbesondere ist der Aktor, was den Bau und die Validierung von Simulationsmodellen, sowie die Durchführung und Auswertung von Experimenten anbelangt, weitgehend auf sich selbst angewiesen. Eine gewisse Hilfe beim Modellentwurf mögen gelegentlich die von Jay W. Forrester für seine "Industrial Dynamics" verwendeten Systembausteine bilden, doch ist deren Wert wegen der engen Anlehnung an die Elektrizitätslehre umstritten (6). Recht nützlich beim Modellbau sind ferner die speziell für Simulationen entwickelten Computer-Programmiersprachen. Diese weisen Subroutinen für viele häufig verwendete Operationen (zum Beispiel für die Erzeugung von Zufallszahlen) auf. Für den Bereich der Lagerbewirtschaftung schliesslich werden vollständige Simulationsprogramme angeboten, bei denen der Benützer lediglich noch die von ihm ins Auge gefassten Strategien oder Entscheidungsverfahren anzugeben braucht. Im allgemeinen aber befindet sich der Aktor bei der Simulation in einer sehr viel ungünstigeren Lage als bei der

mathematischen Programmierung, wo viele Grundprinzipien für den Entwurf entsprechender Modelle gegeben sind. Dazu kommt, dass die statistische Theorie bisher kaum Ansätze enthält, auf die sich der Aktor zur Prüfung der Wirklichkeitsnähe seines Modelles, sowie zur Gestaltung und Auswertung komplizierterer Simulationsexperimente stützen könnte.

Für die seltene Anwendung der Simulation bei sequentiellen Entscheidungen dürfte unseres Erachtens, neben dem bescheidenen Entwicklungsstand der Theorie zu diesem Verfahren, auch der besondere Charakter dieser Probleme verantwortlich sein.

Im allgemeinen hängen bei Sequentialentscheiden die dem Aktor im späteren Prozessverlauf offenstehenden Verhaltensvarianten unter anderem von den Konsequenzen ab, welche auf den vorangegangenen Stufen eingetreten sind. Die möglichen Sequenzen sind deshalb nicht ohne weiteres von vornherein zu erkennen; sie müssen vielmehr meist Stück um Stück zusammengesetzt werden, wie dies etwa bei der Aufstellung eines Entscheidungsbaumes geschieht. Da der Sinn von Simulationen aber gerade darin besteht, dass sie dem Aktor die mühselige Einzeluntersuchung sämtlicher Möglichkeiten ersparen, fällt dieses Vorgehen hier ausser Betracht. Stattdessen ist zu fordern, dass die möglichen Prozessverläufe zumindest teilweise aus mathematischen Formeln abgeleitet werden können. Teilweise mögen die entsprechenden Funktionen auch in Tabellenform ausgedrückt werden; in je stärkerem Masse dies der Fall ist, desto mehr nähert man sich jedoch der Enumeration aller Verlaufsvarianten.

Es ist grundsätzlich nicht unbedingt erforderlich, dass vor Beginn der Simulationsexperimente mathematische Formulierungen der genannten Art für sämtliche möglichen Prozessverläufe vorliegen; diese könnten an sich auch während der Durchführung der Simulationen entsprechend deren konkretem Verlauf geliefert werden. Denkbar wäre etwa ein Dialogverkehr der folgenden Art mit einem Digitalrechner: Der Aktor hätte zunächst nur die Varianten der ersten

Entscheidstufe und die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der entsprechenden Konsequenzen anzugeben. Der Computer würde darauf nach dem Zufallsprinzip eine Variante und ein bestimmtes Ergebnis auswählen und dem Aktor bekanntgeben; dieser hätte, bezogen nur auf diesen konkreten Prozessverlauf, die Grundinformationen für die nächste Entscheidstufe zu liefern, usf. Das ganze Verfahren wäre, dem Stichprobenprinzip entsprechend, mehrfach über alle Stufen der Sequenz durchzuführen.

Es ist klar, dass die Durchführung von Simulationsexperimenten auf die zuvor skizzierte, "halbautomatische" Weise sehr viel mehr Zeit beanspruchen würde als Computersimulationen der üblichen "vollautomatischen" Art. Da bereits die letzteren sehr oft untragbar lange Laufzeiten verursachen, dürfte das Vorgehen praktisch vorderhand nur selten in Frage kommen. Andererseits bedingen aber "vollautomatische" Simulationen die vorgängige mathematische Formulierung aller möglichen Prozessverläufe. Wie sich bereits bei der Behandlung der Methode "Branch-and-Bound" gezeigt hat, ist diese Voraussetzung nur in Ausnahmefällen zu erfüllen. Untersucht man die praktischen Beispiele von Simulationen bei Sequentialentscheidungen näher, so ergibt sich denn auch, dass dabei besonders einfach strukturierte Probleme vorliegen oder dass stark vereinfachende Annahmen getroffen werden. So ist etwa die Menge aller Strategien bei statischen Reihenfolgeproblemen durch kombinatorische Regeln zu erzeugen und nicht von den eingetretenen Konsequenzen abhängig; so wird ferner meist nur ein kleiner Teil aller möglichen Unterhalts- oder Ersatzpolitiken überhaupt den Simulationstests unterzogen, und beim Vergleich von Lagerbewirtschaftungsregeln wird oft unterstellt, die sich ergebenden Verhaltensanweisungen könnten von der Unternehmung in jedem Falle befolgt werden.

Die zuletzt erwähnten, künstlichen Vereinfachungen der eigentlichen Problemstellungen haben zur Folge, dass nicht mehr von einer strikt rationalen Entscheidfindung gesprochen werden kann. Für die Beurteilung dieses Umstandes

ist zu beachten, dass die meisten Simulationen ohnehin keine Optimierung darstellen. Das heisst: auch wenn das aufgestellte Modell alle Möglichkeiten enthält, so wird in der Regel nach dem Stichprobengedanken nur ein Teil aller Varianten und/oder Konsequenzen untersucht. Vereinfacht man nun das ursprüngliche Problem, so stellt sich die Frage, ob dennoch lediglich eine Zufallsauswahl aller Möglichkeiten oder aber nunmehr das gesamte Modellspektrum berücksichtigt werden soll. Im ersten Fall entfernt man sich zusätzlich von der Rationalität im strengen Sinne; im zweiten ist zu überlegen, ob eine Vorauswahl durch den Aktor einer Selektion durch einen Zufallsmechanismus tatsächlich vorzuziehen ist. Die letztere Frage kann nicht allgemeingültig beantwortet werden, da offenkundig die Treffsicherheit des Aktors bei solchen Vor-Urteilen eine entscheidende Rolle spielt (7).

Zusammenfassend muss man sagen, dass die eingangs erwähnten Vorzüge der Simulation, zumindest was sequentielle Problemstellungen angeht, vorläufig vor allem auf dem Papier bestehen. Wohl trifft es zu, dass sich wesentlich kompliziertere Modelle mit Simulationen untersuchen als mit analytischen Verfahren lösen lassen; natürlich ist ferner der Aufwand bei Stichprobentests niedriger als bei Volluntersuchungen. Die Ausnützung dieser Vorteile für Sequentialentscheide wird aber weitgehend verunmöglicht durch die Schwierigkeiten der Modellkonstruktion, welche mit der Struktur dieser Probleme selbst zusammenhängen.

Anmerkungen zu Kapitel 24.7

1 Zu den Simulationsverfahren im allgemeinen vgl.:

Elmaghraby, S.E.: Computers in Production Systems; in: Starr, M.K., op.cit. (1970); S. 322 ff.

Harbordt, S.: Computersimulation in den Sozialwissenschaften; Reinbek 1974.

Meier, R.C., Newell, W.T. und Pazer, H.L.: Simulation in Business and Economics; Englewood Cliffs 1969.

Springer, C.H., Herlihy, R.E., Mall, R.T. und Beggs, R.I., op.cit. (1968); S. 135 ff.

Wagner, H.M., op.cit. (1969); S. 887 ff.

2 Zur Unterscheidung zwischen statischen und dynamischen Reihenfolgeproblemen siehe Kapitel 243.1.

3 Im Zusammenhange mit der Produktionsplanung (Kapitel 2.2) wurde bereits auf den zweifelhaften Wert des Vergleichs verschiedener Prioritätsregeln unter Normbedingungen durch die Warteschlangentheorie hingewiesen. Jene Untersuchungen verfolgen letztlich das in diesem Bereich wohl nicht zu realisierende Ideal einer reinen Wissenschaft.

In diesem Kapitel nun liegt der Akzent auf der Beurteilung der generellen Möglichkeiten, Sequentialentscheide mit Hilfe der Simulation zu fällen. Das Beispiel des Prioritätsregelnvergleichs und die weiteren, noch zu erwähnenden Anwendungsfälle dienen hier allein diesem Zwecke. Ob die konkreten Einzelprobleme in den Fallbeispielen eine materiell angemessene Behandlung erfahren, wird daher nicht näher untersucht.

Zur praktischen Durchführung von Prioritätsregelnvergleichen mittels Simulation siehe wiederum Conway, R.W. und Maxwell, W.L., op.cit. (1962).

4 Veröffentlichungen zu den genannten Anwendungsbereichen sind etwa:

Gerson, M.L. und Maffei, R.B.: Technical Characteristics of Distribution Simulators; in: Management Science, Oktober 1963; S. 62 ff.

Hespos, R. und Strassman, P.: Stochastic Decision Trees for the Analysis of Investment Decisions; in: Management Science, August 1965; S. B-244 ff.

Kotler, P., op.cit. (1965).

Kotler, P., op.cit. (1967); S. 237 ff.

Lee, W.B. und Khumawala, B.M.: Simulation Testing of Aggregate Production Planning in an Implementation Methodology; in: Management Science, Februar 1974; S. 903 ff.

McCall, J.J.: Maintenance Policies for stochastically failing equipment: A Survey; in: Management Science 1965; S. 493 ff.

Mertens, P.: Die gegenwärtige Situation der betriebswirtschaftlichen Instandhaltungstheorie; in: ZfB 1968; S. 805 ff.

Wagner, H.M., op.cit. (1969); S. 905 ff.

5 Darstellungen und Kritiken von Unternehmungsmodellen finden sich beispielsweise bei:

Ansoff, H.I. und Slevin, D.P.: An Appreciation of Industrial Dynamics; in: Management Science, März 1968; S. 383 ff.

Bonini, C.P.: Simulation of Information and Decision Systems in the Firm; Englewood Cliffs 1963.

Boyd, D.F.: Enterprise Models: A New Management Tool; in: Starr, M.K., op.cit. (1970); S. 360 ff.

Forrester, J.W.: Industrial Dynamics; New York 1961.

Forrester, J.W.: Industrial Dynamics - After the First Decade; in: Management Science, März 1968; S. 398 ff.

Forrester, J.W.: Industrial Dynamics - A Response to Ansoff and Slevin; in: Management Science, Mai 1968; S. 601 ff.

Forrester, J.W.: Principles of Systems; Cambridge 1968.

Goetz, B.E.: Synthesis of Several Techniques; in: Management Science, Juni 1969; S. B-506 ff.

Wismer, D.A.: On the Uses of Industrial Dynamic Models; in: Operations Research 1967; S. 752 ff.

6 Siehe dazu die unter Anmerkung 5 aufgeführten Veröffentlichungen von Forrester, Goetz und Wismer.

7 Es sei hier an die Unmöglichkeit erinnert, gewisse Erfolge, die bei "Branch-and-Bound" durch eine Lösungssuche auf Grund von Vermutungen des Aktors erzielt wurden, zu verallgemeinern.

2.5 Weitere Ansätze

Zum Abschluss unserer Uebersicht über die bestehenden Ansätze zur Lösung sequentieller Entscheidungsprobleme erfolgen hier noch einige Hinweise auf Bereiche, die sich in der Zukunft für das Thema als fruchtbar erweisen könnten, gegenwärtig aber noch kein eigenes Kapitel rechtfertigen.

Als erstes dieser Gebiete sei die H e u r i s t i k erwähnt (1). Unter einer Heuristik verstehen wir allgemein ein Verfahren, welches nicht mit Sicherheit zum Ziel führt; als heuristische Entscheidverfahren bezeichnen wir entsprechend Methoden, welche das Auffinden einer optimalen oder einer befriedigenden Lösung nicht zu garantieren vermögen (2). Die Entwicklung und Anwendung von heuristischen Verfahren wird man in Betracht ziehen, wenn zuverlässige Algorithmen entweder nicht bestehen oder wenn deren Einsatz einen unvertretbar hohen Aufwand verursachen würde (3). Es stellen sich dabei allerdings einige schwierige Fragen, was die Beurteilung solcher Methoden angeht. Namentlich lässt sich dort, wo noch kein exaktes Optimierungsverfahren besteht, nicht abschätzen, welche Zielbeiträge dem Aktor durch die Verwendung einer bestimmten Heuristik entgehen können. Soll er sich mit dieser zufrieden geben oder müsste er eigentlich vordringlich danach trachten, sie zu verbessern, beziehungsweise einen Optimierungsalgorithmus zu entwickeln?

Unter den bisher besprochenen Ansätzen zur Fällung von Sequentialentscheiden haben sich bereits einige Heuristiken im definierten Sinne befunden. Wir erinnern nur an die "Rückwärtsplanung" von gesteckten Zielen aus, an die Anpassungen und Verbesserungen mehrstufiger Pläne nach verschiedenen Gesichtspunkten und an Methoden des Ausscheidens von ganzen Strategienklassen, bei denen keine Gewähr besteht, dass das Optimum nicht unfreiwillig ebenfalls eliminiert wird. Es handelte sich bei den früher schon dargestellten Heuristiken grösstenteils um Verfahren, die sich zwar speziell auf Sequentialentscheidungen beziehen, dabei aber grundsätzlich auf sehr viele Einzelprobleme anwendbar sind. Damit verglichen sind fast alle weiteren bisher entwickelten Heuri-

stiken zur Entscheidfindung entweder wesentlich allgemeinerer oder spezielle-rer Natur und damit in unserem Zusammenhange nur von begrenztem Nutzen. Die erste Kategorie dieser Ansätze enthält etwa die Anregungen, man solle komplizierte Probleme in einfachere Teilprobleme aufzuspalten versuchen, mit Analogien arbeiten, etc. (4). Die zweite Kategorie besteht aus Heuristiken, die für ganz konkrete Problembereiche entwickelt wurden. Solche Verfahren gibt es insbesondere für die folgenden Sequentialprobleme: Beschäftigungsab-stimmung an Fliessbändern, Festlegung von mehrperiodigen Werbe- und Ab-satzstrategien, von Maschinenbelegungen, bestimmten Reihenfolgen, Termin-plänen, Rundfahrten, Seriengrössen und -sequenzen, von Schulstundenplänen und Busfahrplänen (5). Die betreffenden Heuristiken knüpfen an sehr speziellen Problemeigenschaften an, so dass eine Verwendung in anderen Zusammenhän-gen nahezu ausgeschlossen erscheint. Wir gehen deshalb nicht näher auf sie ein.

Heuristiken, deren Grundkonzept sich möglicherweise auch bei betriebswirt-schaftlichen Sequentialproblemen erfolgreich ausnützen liesse, werden beim Schachspiel angewandt. Da auch hier die Zahl der verfügbaren Strategien astro-nomisch hoch ist, fällt eine Prüfung sämtlicher möglicher Spielverläufe nicht nur für menschliche Spieler, sondern auch beim Einsatz von Grossrechenanla-gen vollkommen ausser Betracht. Eines der wichtigsten Hilfsmittel, deren sich sowohl Schachspieler wie Computer-Schachprogramme stattdessen bedienen, be-steht in der vergleichsweisen Beurteilung verschiedener, mit den nächsten Zü-gen erreichbarer Stellungen, beziehungsweise Folgezustände (6). Eine Partie wird demnach in mehrere, verhältnismässig kurze Planabschnitte aufgeteilt. Man versucht gleichsam, durch eine Aneinanderreihung taktischer Erfolge den Krieg zu gewinnen. Je besser sich der Nutzen der Zwischenstellungen im Hin-blick auf den Partiegewinn ausdrücken lässt, desto eher wird dies gelingen.

Es kann hier nicht der Versuch unternommen werden, die skizzierte Spielweise beim Schach in entsprechende Heuristiken zur Festlegung des Verhaltens bei be-

triebswirtschaftlichen Sequentialproblemen umzumünzen. Wenn zur Bewertung von Schachpositionen Gesichtspunkte wie die Zahl der noch vorhandenen Bauern und Figuren, das Ausmass der Kontrolle über die Zentrumsfelder, usw. berücksichtigt werden, so ist einerseits zwar augenfällig, dass es in der betriebswirtschaftlichen Lehre und Praxis eine Fülle ähnlicher Hilfsmassstäbe gibt, deren Bedeutung als Indikatoren für die Erreichung der eigentlichen Unternehmungsziele in der Zukunft noch weitgehend ungeklärt sind. Andererseits dürfen die grossen Unterschiede, welche zwischen einem Schachspiel und den meisten Problemen der Unternehmensführung bestehen, nicht übersehen werden. Wichtig ist in diesem Zusammenhang vor allem, dass der Wert einer bestimmten Schachposition weitgehend unabhängig von Umwelteinflüssen festgelegt werden kann, während beispielsweise dieselbe Kapitalstruktur einer Unternehmung in gewissen Situationen als günstig, in anderen aber als ungünstig zu taxieren ist.

Fast alle bisher entwickelten Computer-Schachprogramme beruhen im wesentlichen auf der Bewertung von Zwischenstellungen. Die besten Programme haben die Spielstärke sehr guter menschlicher Schachspieler erreicht (7). Doch obwohl ein Computer in der Lage ist, sehr viel mehr einzelne Positionen zu bewerten als jeder Mensch, gelangt man immer mehr zur Ansicht, dass auf diesem Wege die Klasse internationaler Schachmeister nicht zu erreichen ist. Den Grund dafür sieht man in weiteren heuristischen Fähigkeiten, über die der Mensch verfügt und die gerade bei grossen Schachspielern besonders ausgeprägt sind. Man kann sie zusammenfassend als Fähigkeiten zur Strukturerkennung im gestaltpsychologischen Sinne bezeichnen. Konkret bedeutet dies beispielsweise, dass einem menschlichen Schachspieler die Möglichkeit eines Angriffs auf dem Damenflügel in die Augen sticht, dass er gewisse gegnerische Züge rasch als Scheinmanöver zu durchschauen vermag, etc. Die Gestalterkennung ermöglicht dem Menschen Grobentscheidungen zwischen verschiedenen Strategienklassen, während die üblichen Computerprogramme gezwungen sind, alle Möglichkeiten einzeln zu analysieren.

Die grundsätzlichen Vorteile, welche aus der Fähigkeit der Strukturerkennung, des "raschen Ueberblicks", erwachsen, sind auch bei anderen komplizierten Entscheidungsproblemen erkannt worden, die der Unternehmungsführung näherstehen als das Schachspiel (8). Im Rahmen der sogenannten "heuristischen Programmierung" werden Anstrengungen unternommen, die Denkprozesse von Aktoren, welche über solche Fähigkeiten verfügen, aufzudecken, in die Form von Algorithmen überzuführen (9) und schliesslich zum Nachvollzug auf einem Computer zu programmieren (10). Das bietet erhebliche grundsätzliche Schwierigkeiten. Es ist uns denn bislang auch erst ein einziges Programm zur sequentiellen Entscheidfindung bekanntgeworden, welches auf dem Prinzip der Gestalterkennung aufbaut. Dabei handelt es sich wiederum um ein Computer-Schachprogramm, mit dem bisher zwar nur mässige Ergebnisse erzielt worden sind; trotzdem werden in diesem Bereich die grössten Hoffnungen in die Gestalterkennung gesetzt (11). Daraus einen Analogieschluss hinsichtlich der zukünftigen Bedeutung solcher Verfahren für betriebswirtschaftliche Entscheidungssequenzen zu ziehen, ist selbstverständlich nicht möglich. Ein allfälliger Erfolg aus dieser Richtung der Forschung wäre zudem zunächst wohl bei sehr speziellen, deterministischen Problemtypen zu erwarten und daher unmittelbar nur von begrenztem Nutzen.

Zuletzt sei kurz auf ein Gebiet eingegangen, in dem an sich ein sehr grosses Wissen über die Behandlung sequentieller Probleme zu vermuten ist. Wir meinen damit die m i l i t ä r i s c h e E n t s c h e i d f i n d u n g . Es ist zunächst offenkundig, dass auf allen Ebenen der Kriegführung das Vorgehen in den weitaus meisten Fällen für mehr als nur einen Schritt vorausgeplant werden muss. Fest steht ferner, dass sich die Menschheit seit Jahrtausenden intensiv mit Fragen der Kriegführung beschäftigt hat. Was besonders die Verwendung moderner Entscheidungsverfahren betrifft, so ist bekannt, dass das Gebiet des Operations Research im wesentlichen aus Methoden hervorgegangen ist, die während des zweiten Weltkrieges zur Lösung logistischer und taktischer Probleme entwickelt wurden. Zumindest in den Vereinigten Staaten war zudem

auch lange Zeit nach dem zweiten Weltkrieg noch ein erheblicher Teil aller Operations-Research-Fachleute für Heer, Marine, Luftwaffe und Verteidigungsministerium tätig (12). All den genannten Gründen zum Trotz finden sich in militärischen Veröffentlichungen praktisch keine Techniken zur Lösung von Sequentialproblemen, die wir nicht bereits behandelt haben und die sich nicht auf ältere "zivile" Quellen zurückführen liessen. Um die Lage im Bereich der Militärpublizistik kurz zu charakterisieren ist es nötig, zwischen Strategie und Taktik zu unterscheiden (13).

Die strategischen Veröffentlichungen der neueren und neuesten Zeit sind gekennzeichnet durch die Umwälzungen in der Kriegführung, welche seit dem letzten Weltkrieg teils schon praktisch in Erscheinung getreten sind, teils in der Form von vorderhand noch unerprobten neuen Varianten bestehen (14). Erwähnt seien nur das starke Aufkommen von Guerillakriegen und Terrorismus, die Möglichkeit totaler Vernichtung durch Kernwaffen, der Einsatz von Massenkommunikationsmitteln und Rohstoffbesitz bei der Konfliktaustragung (15). Diese Entwicklungen hatten zur Folge, dass die meisten der zuvor gehegten, rezepthaften und schematischen Ansichten zur Kriegführung ihre Gültigkeit verloren und ein eigentlicher Neubeginn gesucht werden musste. Verhaltenssequenzen wurden dabei vor allem für den Fall nuklearer Auseinandersetzungen entworfen. Die zahlreichen konkreten Vorausplanungen auf diesem Gebiete sind verständlich: gelangen Raketen als Träger von atomaren Sprengsätzen zum Einsatz, so bleibt dem Aktor im Ernstfall keine Zeit für langwierige Entscheidungsprozesse. Ein Beispiel mag genügen, um den Charakter solcher nuklearstrategischer Sequenzen zu veranschaulichen und gleichzeitig die Art der Entscheidverfahren anzudeuten, die bei ihrer Entwicklung angewandt werden:

Auszugehen ist von einem Land, das nur über Vergeltungsmittel verfügt, die bei einem geglückten Ueberraschungsangriff eines Gegners vollständig vernichtet würden. Will es Vergeltung üben, so ist ein solches Land gezwungen,

diese Waffen einzusetzen, sobald es einen Angriff zu erkennen glaubt. Ein falscher Alarm kann aber nicht ausgeschlossen werden. Kommt es dazu, so muss unbedingt verhindert werden, dass die Gegenseite nun ihrerseits einen Angriff vermutet und zurückschlägt. Das kann beispielsweise durch eine sofortige Mitteilung über einen "heissen Draht" und die Zerstörung der eigenen Vergeltungswaffen durch Funkbefehl geschehen. Es fragt sich jedoch, ob dieser Weg tatsächlich beschritten werden sollte, führt er doch dazu, dass man danach dem Gegner ohne eine verbleibende Verteidigungsmöglichkeit auf Gedeih und Verderb ausgeliefert ist (16).

Die Strategen trachten offenkundig danach, sämtliche Handlungsabläufe, die zu einem Atomkrieg führen könnten, einander gegenüberzustellen und in der skizzierten Art, die wir als "vulgär-spieltheoretisch" bezeichnen möchten, zu analysieren. Die wohl bekanntesten dieser sogenannten "Szenarios" sind unter der Leitung von Herman Kahn entstanden (17). Bei der Lektüre solcher Untersuchungen fragt man sich unwillkürlich, ob dahinter wirklich nur die erkennbaren, sehr einfachen und kaum systematisierten Methoden zur Behandlung sequentieller Problemstellungen stehen, oder ob ihnen nicht vielmehr wesentlich anspruchsvollere Verfahren zugrundeliegen, die aus militärischen Ueberlegungen geheimgehalten werden (18). Oskar Morgenstern, der es als ehemaliges Mitglied der RAND-Corporation, der Atomenergiekommission und des Beraterstabes des Weissen Hauses eigentlich wissen müsste, neigt (was die USA betrifft) der ersten Ansicht zu (19). Wie dem auch sei: sollten tatsächlich für diese lebenswichtigen Sequentialentscheide noch keine besseren Methoden zur Verfügung stehen, so ist doch wenigstens anzunehmen, dass grosse Anstrengungen zu deren Entwicklung unternommen werden. In jedem Falle dürfte früher oder später auch der zivile Sektor davon profitieren.

Die fortschrittlichsten Entscheidungsverfahren, welche die allgemein zugängliche Literatur zur Militärtaktik aufweist, sind dem Operations Research zuzurechnen. Klammert man die logistischen Problemstellungen aus, die sich

praktisch nicht von entsprechenden "zivilen" Fragen unterscheiden (Lösungsmethoden zu diesen wurden, soweit für unser Thema von Interesse, bereits in früheren Kapiteln behandelt), so verbleiben im wesentlichen nur die sogenannten Kampfmodelle. Clinton Ancker unterteilt diese in die makroskopischen, die mikroskopischen und die spieltheoretischen Ansätze (20).

Makroskopische Kampfmodelle erklären oder prognostizieren den Verlauf von Schlachten, bei denen alle beteiligten Seiten grosse Verbände einsetzen. Das führt dazu, dass sich individuelle Unterschiede im Funktionieren der Waffen, im Verhalten der einzelnen Kämpfer, etc. weitgehend ausgleichen und stattdessen Gesamtgrössen wie die zahlenmässigen Stärken der Beteiligten die Hauptrolle zu spielen beginnen. Man trachtet deshalb danach, Gesetzmässigkeiten im Zusammenspiel solcher Makro-Grössen zu ermitteln und für Simulationen des Kampfablaufes auszunützen (21). Die betreffenden Regelmässigkeiten sind für die Unternehmungsführung ebensowenig von Nutzen wie die Typologie der Konfliktsituationen, an denen sie anknüpfen; zum Wert der Simulation bei der Behandlung sequentieller Probleme haben wir uns im vorangehenden Kapitel geäussert.

Die mikroskopischen Kampfmodelle werden oft auch unter dem Begriff der Duelltheorie zusammengefasst. Ueberspitzt ausgedrückt entsprechen sie einem Gedanken von Clausewitz, wonach der Krieg nichts anderes als ein Duell auf höherer Ebene darstelle. Neben dem klassischen Duell zwischen zwei einzelnen Gegnern werden deshalb auch Erweiterungen wie "zwei gegen einen", "zwei gegen zwei", "mehrere gegen mehrere", bis hin zu grösseren Gefechten untersucht. Typischerweise berücksichtigt man dabei den Einfluss von so spezifischen Faktoren wie der zur Verfügung stehenden Munition und Zeit, der Flugdauer der Geschosse, des Standortwechsels des Gegners, wenn ihn das Feuer nur knapp verfehlt hat, etc. Die meisten mikroskopischen Kampfmodelle dienen, gleich wie die makroskopischen, lediglich der Prognose des Ausgangs einer Auseinandersetzung bei bekannten Parametern. Teilweise werden sie ferner

für die Wahl zwischen verschiedenen Waffensystemen, beziehungsweise für den Entwurf von solchen benützt. Erst selten bestimmt man damit auch das beste Verhalten in Gefechten (so wird unter anderem untersucht, ob in Duellen vom Typ "zwei gegen zwei" die beiden Partner besser zuerst gemeinsam den einen und dann den andern Gegner bekämpfen, oder ob sich jeder von Anfang an mit einem der Gegner befassen sollte). In keinem uns bekannten Falle werden Lösungsmethoden für Sequentialprobleme angewandt, die nicht bereits besprochen worden wären. (22)

Auf die spieltheoretischen Kampfmodelle hier näher einzutreten erübrigt sich: Wir haben uns in Kapitel 23.2 mit den spieltheoretischen Ansätzen zur Bestimmung von Verhaltenssequenzen gesamthaft befasst und dort zur Veranschaulichung speziell der Differentialspiele zudem das Bunker-Hill-Kampfmodell skizziert. (23)

Unseren Ausführungen zufolge lassen sich somit auch den Veröffentlichungen zur Taktik vorderhand keine zusätzlichen Erkenntnisse zu betriebswirtschaftlichen Entscheidsequenzenproblemen abgewinnen. Es stellt sich natürlich wiederum die Frage, ob hier irgendwelche weiteren Ansätze geheimgehalten werden. Dafür, dass die USA im Bereiche taktischer Operations-Research-Modelle eine strenge Geheimhaltungspolitik befolgen, liefert James Dobbie ein konkretes Beispiel (24). Andererseits ist anzunehmen, dass der Druck zur Entwicklung neuer Verfahren der Sequenzenbestimmung auf dem Gebiete der Strategie stärker ist als auf demjenigen der Taktik; taktische Probleme können eher noch in eine Form gebracht werden, bei der die Anwendung einer der bereits früher besprochenen Methoden einigermassen zu befriedigen vermag.

Anmerkungen zu Kapitel 2.5

1 Allgemeine Ausführungen zur Heuristik finden sich beispielsweise bei:

Beier, U.: Entscheidungsmethoden bei der Bestimmung eines Konsumprogramms; in: ZfB 1973; S. 201 ff.

Klaus, G., op.cit. (1969); S. 249.

Simon, H.A. und Newell, A.: Heuristic Problem Solving: The Next Advance in Operations Research; in: Operations Research 1958; S. 1 ff.

Taylor, D.W., op.cit. (1970); S. 42 ff.

Zehnder, C.A.: Das Prinzip der heuristischen Methoden; in: Weinberg, F. und Zehnder, C.A., op.cit. (1969); S. 7 ff.

Zehnder, C.A.: Zur Anwendung von Rechenautomaten; in: Weinberg, F. und Zehnder, C.A., op.cit. (1969); S. 89 ff.

2 Der Begriff ist relativ: eine bestimmte Methode kann bei gewissen Problemtypen sicher zu einer optimalen, beziehungsweise befriedigenden Lösung führen, bei anderen dagegen nicht. Dieselbe Methode, auf denselben Problemtyp angewandt, kann ferner für den einen Aktor eine Heuristik darstellen, für den anderen nicht. Dies dann, wenn die Methode zwar nicht das Optimum, jedoch eine (den zweiten Aktor) befriedigende Lösung zu garantieren vermag.

3 Die Mathematik unterscheidet zwischen der theoretischen und der praktischen Lösung eines Problems. Als theoretisch gelöst gilt ein Problemtyp, wenn ein Algorithmus gefunden wurde, der in jedem einzelnen Falle in endlich vielen Schritten zum Ziel führt. Beansprucht das Verfahren jedoch zu viel Zeit, so gilt das Problem im praktischen Sinne immer noch als ungelöst. Weinberg weist andererseits darauf hin, dass eigentlich nur der Theoretiker den Begriff der Unlösbarkeit eines Problems kenne; der Praktiker sei gezwungen, in jedem Falle einen mehr oder weniger befriedigenden Ausweg zu finden. Vgl.:

Gellert, W., Küstner, H., Hellwich, M. und Kästner, H., op.cit. (1967); S. 16.

Weinberg, F., im Vorwort zu Weinberg, F. und Zehnder, C.A., op.cit. (1969); S. 3

4 Siehe etwa:

Beier, U., op.cit. (1973); S. 201 ff.

Taylor, D.W., op.cit. (1970); S. 45 f.

5 Veröffentlichungen hiezu sind unter anderem:

Dellmann, K., op.cit. (1974).

Escher, G., op.cit. (1969).

Kilbridge, M.D. und Wester, L.: A Review of Analytical Systems of Line Balancing; in: Operations Research 1962; S. 626 ff.

Kuehn, A.A. und Hamburger, M.J.: A Heuristic Program for Locating Warehouses; in: Cyert, R.M. und Welsch, L.A., op.cit. (1970); S. 228 ff.

Little, J.D.C. und Lodish, L.M.: A Media Planning Calculus; in: Operations Research 1969; S. 1 ff.

Mastor, A.A.: An Experimental Investigation and Comparative Evaluation of Production Line Balancing Techniques; in: Management Science, Juli 1970; S. 728 ff.

Moore, C.G.: The Heuristic Programming of Marketing Decisions; in: King, R.L. (Hrsg.): Marketing and the New Science of Planning; Chicago 1968; S. 41 ff.

Rössler, M.: Das Stundenplanproblem; in: Weinberg, F. und Zehnder, C.A., op.cit. (1969); S. 23 ff.

Tonge, F.M.: Summary of a Heuristic Line Balancing Problem; in: Cyert, R.M. und Welsch, L.A., op.cit. (1970); S. 201 ff.

Urban, G.L.: Sprinter Mod III: A Model for the Analysis of new frequently purchased consumer products; in: Operations Research 1970; S. 805 ff.

Wiest, J.D.: A Heuristic Model for Scheduling Large Projects with Limited Resources; in: Management Science, Februar 1967; S. B-359 ff.

Wildmann, P.: Berechnungsmodell für militärische Nachschubprobleme; in: Weinberg, F. und Zehnder, C.A., op.cit. (1969); S. 55 ff.

6 Als Literatur über Computer-Schachprogramme siehe etwa:

Computer Chess Programs; in: Proceedings of the 1971 Annual Conference, Association for Computing Machinery; o.O.; S. 97 ff.

Mittman, B.: Can a Computer Beat Bobby Fischer? In: Datamation, Juni 1973; S. 84 ff.

Shannon, C.: Programming a Digital Computer for Playing Chess; in: Philosophical Magazin 1950; S. 256 ff.

7 Das heisst (im Jahre 1972): Spielstärke C, was etwa 1.550 Punkten in der Wertung des Schachverbandes der USA entspricht. Zum Vergleich: Der zeitweilige Schachweltmeister, Robert Fischer, wurde im gleichen Jahr mit über 2.800 Punkten eingestuft.

Vgl. Mittman, B., op.cit. S.85.

8 Siehe etwa:

Thumb, N., op.cit. (1968); S. 23.

Wildmann, P., op.cit. (1969); S. 81.

Zehnder, C.A., op.cit. (1969 b); S. 91 f.

9 Zum Begriff des Algorithmus, sowie den Bedingungen und der Bedeutung der Algorithmisierung eines Prozesses vgl.:

Gellert, W., Küstner, H., Hellwich, M. und Kästner, H., op.cit. (1967);S. 779 ff.

10 Statt von heuristischer Programmierung sprechen etliche Autoren auch von "künstlicher Intelligenz". Unter beiden Begriffen wird hier die Nachbildung beobachteten menschlichen Entscheidungsverhaltens, in der Regel auf einer elektronischen Datenverarbeitungsanlage, verstanden. Diese steht teilweise im Dienste der Psychologie, teilweise verspricht man sich von ihr aber auch wertvolle Erkenntnisse für die Problemlösung. So beruhen etliche der in den Veröffentlichungen unter Anmerkung 5 enthaltenen Heuristiken auf von Menschen tatsächlich angewandten Faustregeln. Als Heuristiken gelten andererseits auch Verfahren im früher definierten Sinne, die speziell entwickelt wurden, also nicht bereits in der Praxis in Gebrauch standen, und die somit nicht der heuristischen Programmierung zuzurechnen sind.

Als allgemeine Literatur zum Konzept der heuristischen Programmierung siehe zum Beispiel:

Brown, G.W.: Computation in Decision Making; in: Machol, R.E. (Hrsg.): Information and Decision Processes; New York, Toronto, London 1960; S. 1 ff., insbesondere S. 11.

Feigenbaum, E.A. und Feldman, J. (Hrsg.): Computers and Thougt; New York 1963.

Moore, C.G., op.cit. (1968).

Simon, H.A.: The New Science of Management Decision Making; New York 1960; S. 23 ff.

11 Mittman, B., op. cit. (1973); S. 86.

12 Siehe etwa:

Miser, H. J.: Operations Research in Perspective; in: Operations Research 1963; S. 669 ff.

Mood, A. M.: Diversification of Operations Research; in: Operations Research 1965; S. 169 ff.

Walsh, J. E.: International Operations Research Activities; in: Operations Research 1968; S. 709 ff.

13 Abweichend von den übrigen Teilen der Arbeit wird unter "Strategie" hier nicht einfach ein Vorgehensplan über zwei oder mehr Stufen, sondern die Planung der grossen Linien und der wichtigsten Einzelmassnahmen bei der Konfliktführung verstanden; als "Taktik" ist die entsprechende Detailplanung zu betrachten.

Die Unterscheidung ist unscharf; sie widerspiegelt aber den Sprachgebrauch in diesem Bereich. Sowohl auf dem strategischen als auch auf dem taktischen Sektor sind sequentielle Problemstellungen häufig.

14 Einen guten Kurzüberblick über die wichtigsten Strömungen in der neueren strategischen Literatur vermittelt das Vorwort von Helmut Schmidt zur deutschen Ausgabe von Herman Kahns "On Escalation". Siehe:

Kahn, H.: Eskalation - die Politik mit der Vernichtungsspirale; Frankfurt, Berlin, Wien 1970; S. 11 ff.

15 Wichtige Veröffentlichungen, die von diesen Einflüssen geprägt sind, sind etwa:

Aron, R.: Paix et guerre entre les nations; Paris 1962.

Beaufre, A.: Introduction à la stratégie; Paris 1963.

Beaufre, A.: Dissuasion et stratégie; Paris 1964.

Beaufre, A.: Stratégie de l'action; Paris 1966.

Beaufre, A.: La guerre révolutionnaire; Paris 1972

Beaufre, A.: Die Neue Strategie; in: Neue Zürcher Zeitung, 2. 9. 1973; S. 37.

Kingston-McCloughry, E. J.: Global Strategy; London 1957.

Sokolowski, W. D. (Hrsg.): Militär-Strategie; Köln 1965.

16 Nach Morgenstern, O.: Strategie - heute; Frankfurt/Main 1962; S. 67 ff.

Das Beispiel führt übrigens zum zunächst überraschenden Schluss, dass es für jedes defensiv eingestellte Land von Vorteil ist, wenn eine gegnerische Atommacht über die sogenannte "second strike capability" verfügt, das heisst, über die Fähigkeit, selbst nach einem erlittenen Ueberraschungsangriff noch Vergeltung zu üben. Das hat nämlich zur Folge, dass ein solcher Gegner bei einem vermeintlichen oder tatsächlichen Angriff nicht gezwungen ist, sofort mit seiner ganzen Nuklearmacht zuzuschlagen. Vgl. neben Morgenstern, a.a.O., hiezu auch:

McNamara, R.: Die Sicherheit im Atomzeitalter; in: Neue Zürcher Zeitung, 29.9.1967, o.S.

17 Kahn, H.: On Thermonuclear War; Princeton 1960.

Kahn, H.: Thinking about the Unthinkable; New York 1962.

Kahn, H., op.cit. (1970).

Vgl. ferner auch das in der vorangehenden Anmerkung zitierte Werk von Morgenstern, sowie:

Schelling, T.C.: Dispersal, Deterrence, and Damage; in: Operations Research 1961; S. 363 ff.

18 Die Bekanntgabe der Ergebnisse bei gleichzeitiger Geheimhaltung der Methoden, mit denen sie erzielt wurden, kann in solchen Zusammenhängen sinnvoll sein: Der Gegner weiss dann, womit er zu rechnen hat, kann aber keine ebenso gute eigene Strategieforschung betreiben.

19 "Wenn man an Tagungen von Physikern und Mathematikern teilnimmt, stellt man bald fest, wo die Grenze des menschlichen Wissens auf diesen Gebieten zur Zeit verläuft, wer die besten Köpfe sind und was an massgeblichen Gedanken zu diesen Themen vorgebracht werden kann. Diskutiert man mit Sozialwissenschaftlern, so stösst man bereits auf Schwierigkeiten, und kommt man auf das Gebiet der Strategie, ist man bald ratlos und fragt sich, ob das, was da gesagt und geschrieben wird, tatsächlich das Beste ist, was die USA produzieren können. Man geht von Konferenz zu Konferenz, liest Dokument auf Dokument in der Hoffnung, Gewissheit zu finden und die 'besten', 'stärksten' Gedanken erkennen zu können. Es gibt aber keine Gewissheit, es gibt nur die schleichende Furcht, dass unsere Bemühungen nicht gross und nicht ausdauernd genug sind, dass die Probleme vielleicht sogar unsere Fähigkeit der richtigen Formulierung und Lösung übersteigen."

Morgenstern, O., op.cit. (1962); S. 165. Das ganze Werk Morgensterns stellt eine scharfe Kritik an der Strategie der USA dar; die amerikanische Originalausgabe geht freilich bereits auf das Jahr 1959 zurück.

20 Ancker, C.J.: The Status of Developments in the Theory of Stochastic Duels - II; in: Operations Research 1967; S. 388 ff.

21 Ein grosser Teil dieser Gesetzmässigkeiten geht auf Lanchesters lineares und auf desselben Autors quadratisches Gesetz zurück. Die beiden von F.W. Lanchester schon 1916 veröffentlichten Gesetze drücken (für unterschiedliche Voraussetzungen) die zu erwartenden Verluste der verschiedenen Kampfparteien in Abhängigkeit von den Stärkeverhältnissen aus.

Siehe etwa die folgende Literatur zu den makroskopischen Kampfmodellen:

Bonder, S.: The Lanchester Attrition-Rate Coefficient; in: Operations Research 1967; S. 221 ff.

Bonder, S.: The Mean Lanchester Attrition Rate; in: Operations Research 1970; S. 179 ff.

Brooks, F.C.: The Stochastic Properties of Large Battle Models; in: Operations Research 1965; S. 1 ff.

Dolansky, L.: Present State of the Lanchester Theory of Combat; in: Operations Research 1964; S. 344 ff.

Koopman, B.O.: A Study of the Logical Basis of Combat Simulation; in: Operations Research 1970; S. 855 ff.

Lanchester, F.W.: Aircraft in Warfare: The Dawn of the Fourth Arm; London 1916.

Schaffer, M.B.: Lanchester Models of Guerilla Engagements; in: Operations Research 1968; S. 457 ff.

Weiss, H.K.: Combat Models and Historical Data: The US Civil War; in: Operations Research 1966; S. 759 ff.

22 Zu den mikroskopischen Kampfmodellen siehe beispielsweise:

Ancker, C.J., op.cit. (1967)

Ancker, C.J.: Stochastic Duels with Limited Ammunition Supply; in: Operations Research 1964; S. 38 ff.

Bellman, R. und Dreyfus, S.: On the computational solution of dynamic programming processes - I: On a tactical air warfare model of Mengel;

in: Operations Research 1958; S. 65 ff.

Bhashyam, N. und Singh, N.: Stochastic Duels with Varying Single-Shot Kill Probabilities; in: Operations Research 1967; S. 233 ff.

Wentzel, J.S., op.cit. (1966); S. 79 ff.

23 Als führende Autoren auf dem Gebiet der spieltheoretischen Kampfmodelle gelten Dresher und Isaacs. Vgl.:

Danskin, J.M.: A Helicopter versus Submarine Search Game; in: Operations Research 1968; S. 509 ff.

Dresher, M.: Strategische Spiele; Theorie und Praxis; Zürich 1966

Isaacs, R., op.cit. (1965).

24 Gemeint ist das Standardwerk von Koopman über die Suchtheorie, das militärischen Stellen bereits 1946 zugänglich war, für den zivilen Gebrauch aber erst 1958 freigegeben wurde. Hauptgrund für die Zurückhaltung der Militärs im Bereich der Suchtheorie waren übrigens nicht die Methoden als solche, sondern die in deren Zusammenhange erwähnten Daten von Waffensystemen.

Dobbie, J.M.: A Survey of Search Theory; in: Operations Research 1968; S. 526.

3 Probleme und praktische Möglichkeiten bei der Festlegung von Entscheidungssequenzen

3.1 Vorbemerkungen

Im vorangehenden zweiten Hauptteil dieser Arbeit sind die in der Literatur vertretenen Ansätze zur Behandlung sequentieller Entscheidungsprobleme einzeln kritisch besprochen worden. Auf dieser Grundlage wird nunmehr zu einer zusammenfassenden, allgemeineren Betrachtung des Themenkreises ausgeholt. Zuerst werden einige Aspekte des Sequentialentscheides aufgedeckt, die in den bestehenden Ansätzen keine oder nicht die ihnen gebührende Beachtung finden. Daraus ergeben sich unter anderem die folgenden Fragen: Welche Bedeutung kommt Informationen zu, von denen der Aktor erst während der Durchführung einer Strategie Kenntnis erhält? Kann das Werturteil des Aktors von der Reihenfolge des Konsequenzeneintritts abhängen? Welche Fälle von Unsicherheit treten bei Entscheidungssequenzen auf? Wie sind Auswirkungen von Strategien zu behandeln, welche für die Zielerreichung lediglich eine indirekte Rolle spielen? So weit wie möglich werden zu den aufgeworfenen Problemen unmittelbar Lösungen entwickelt. Zusammen mit den Erkenntnissen des zweiten Hauptteils erlauben es uns diese Betrachtungen, im Schlusskapitel eine Bilanz aus dem gegenwärtigen Wissen zum Sequentialentscheid zu ziehen. Der praktischen Seite wird dabei besonderes Gewicht beigemessen, denn der theoretischen Lösbarkeit von Problemen (im Sinne der Mathematik) kommt in anwendungsorientierten Disziplinen wie der Betriebswirtschaftslehre und der Entscheidungstheorie nur eine untergeordnete Bedeutung zu.

3.2 Besondere Probleme bei Entscheidungssequenzen

32.1 Offenstehende Varianten und Strategien

Stellt ein Einzelentscheid eine Wahl zwischen verschiedenen Varianten dar, so legt sich der Aktor bei einem Sequentialentscheid entsprechend auf eine bestimmte Strategie fest. Offenstehende Strategien sind jedoch nur selten unmittelbar als solche zu erkennen. Sieht man von den in diesem Zusammenhange bisher kaum erforschten Möglichkeiten der Gestalterkennung ab, so dürfte dies nur in Bereichen der Fall sein, in denen sich Standardabläufe herausgebildet haben. Dies trifft beispielsweise bei vielen Transportproblemen zu: Einem Spediteur, der einen Transport von Bellinzona nach Zürich zu organisieren hat, ist sogleich klar, dass dafür die Gotthard- und die San-Bernardino-Route mit den entsprechenden Streckenetappen in Frage kommen. Bekannt sind auch etwa die Vorgehensschritte zur Betreibung eines Schuldners; hier überblickt man selbst die stochastischen Entwicklungsmöglichkeiten des Prozesses weitgehend (zum Beispiel: der Schuldner wird innerhalb der gesetzlichen Frist nach Erhalten des Zahlungsbefehls entweder einlenken oder aber Rechtsvorschlag erheben). Normalerweise wird man jedoch zur Ermittlung der verfügbaren Strategien zunächst die auf den verschiedenen Entscheidstufen bestehenden Verhaltensvarianten bestimmen müssen. Diese Aufgabe unterscheidet sind, was die erste Entscheidstufe betrifft, offenkundig nicht von der Variantenzusammenstellung für einen Einzelentscheid. Zu untersuchen ist deshalb, ob sich hinsichtlich der Varianten der weiteren Stufen besondere Probleme ergeben.

Zunächst scheint dies der Fall zu sein, denn bei zahlreichen Sequentialproblemen hängen die Verhaltensmöglichkeiten späterer Stufen von den vorangegangenen Entscheidungen und Entwicklungen ab. Sie sind deshalb prinzipiell unsicher und müssen prognostiziert werden. Die Theorie des rationalen Einzelentscheides kennt demgegenüber die Erscheinung unsicherer Varianten nicht. Das ist jedoch auf eine Lücke dieser Theorie zurückzuführen, welche

unterstellt, ein Entscheid werde stets unmittelbar vor seiner Verwirklichung getroffen. Bekanntlich müssen aber auch Einzelentscheide häufig eine erhebliche Zeit im voraus gefällt werden, so dass auch hier durchaus Unsicherheit bezüglich der Varianten bestehen kann. Ein einfaches Beispiel zeigt dies zur Genüge: Ein Vorgesetzter will das Arbeitsprogramm seiner Gruppe für die folgende Woche festlegen. Einer der Mitarbeiter liegt aber im Augenblick noch krank zuhause und es ist ungewiss, ob er am nächsten Montag zur Arbeit erscheinen kann. Die Arbeiten, welche in der Planwoche in Angriff genommen werden können, hängen indessen stark davon ab, ob er einsatzfähig sein wird oder nicht. Der Vorgesetzte kann die Planung nicht auf den Montag verschieben, will er nicht in Kauf nehmen, dass die Gruppe vorerst untätig auf seinen Entscheid warten muss. Entscheidet er im voraus, so sind jedoch die Varianten unsicher.

Aus dem Beispiel ergibt sich, dass sich der Sequentialentscheid vom Einzelentscheid durch die Notwendigkeit von Variantenprognosen nicht grundsätzlich unterscheidet. Die entscheidungstheoretische Literatur äussert sich nicht zur Technik solcher Prognosen. Das kann man deshalb als gerechtfertigt betrachten, weil Variantenprognosen zu keinen Problemen führen, die nicht auch bei Voraussagen in anderen Zusammenhängen anzutreffen wären. Mithin kann man dafür auf die allgemeine Prognoselehre verweisen (1). Es sei allerdings bemerkt, dass diese vorläufig nur für quantitative Vorhersagen einigermassen gut ausgebaut ist. Variantenprognosen verlangen jedoch oft qualitative Urteile, so etwa, wenn dabei der technische Fortschritt eine Rolle spielt.

Es stellt sich im weiteren die Frage, wie angesichts unsicherer Varianten ein rationaler Entscheid getroffen werden kann. Darauf haben etliche der im zweiten Teil der Arbeit besprochenen Ansätze mit dem Prinzip der Eventualplanung für sequentielle Problemstellungen bereits eine gültige Antwort erteilt (2). Dazu sind freilich an dieser Stelle einige zusätzliche Erläuterungen nötig.

In der Regel knüpfen die erwähnten Eventualplanungsverfahren an den verschiedenen Konsequenzen oder Folgezuständen (im Sinne der dynamischen Programmierung) an, die sich einstellen können. Bedingte Entscheidungen lauten also etwa: "Wenn Konsequenz k_1 eingetroffen ist, so entscheide dich unter den dann offenstehenden Varianten v_3 und v_4 für die letztere; stellt sich aber anstelle von k_1 die Konsequenz k_2 ein, dann werden die Varianten v_5 und v_6 verfügbar sein; von diesen ist v_5 vorzuziehen." (Siehe Kapitel 23.1 und Abbildung 5.)

Es ist nun aber zweifellos nicht immer so, dass mit der Konsequenz oder dem Folgezustand die als nächste zur Wahl stehenden Varianten determiniert sind. Dies trifft zwar dann etwa zu, wenn Zielvariablen gleichzeitig Entscheidungsvariablen darstellen. Strebt ein Aktor beispielsweise die Gewinnmaximierung an und plant er eine Sequenz von Finanzanlagen, so sind die möglichen Ergebnisse der ersten Transaktion einerseits Zielbeiträge, andererseits bestimmen sie aber auch die "Manövriermasse" für den nächsten Investitionsentscheid. Baut man das Beispiel noch etwas weiter aus, so lässt sich daran jedoch auch zeigen, dass die Varianten einer bestimmten Entscheidstufe mit den Konsequenzen der vorangehenden Stufen nicht festzustehen brauchen. Beabsichtigt der Aktor nämlich etwa, als zweite Anlage Aktien der Firma X zu erwerben, so hängt es nicht nur vom Ausgang des ersten Geschäftes ab, wieviele dieser Wertpapiere er kaufen können wird, sondern auch von der Kurentwicklung, welche diese bis dahin durchmachen.

Die Varianten können, wie man sieht, von Faktoren mitbestimmt werden, welche nichts mit dem Verhalten des Aktors zu tun haben. In Grenzfällen sind solche Faktoren allein für die offenstehenden Varianten verantwortlich. Es kann daher nicht vorausgesetzt werden, dass die Eintreffenswahrscheinlichkeiten von Varianten mit denjenigen der Zielkonsequenzen der vorangehenden Massnahmen identisch sind. In allen Fällen, in denen dies nicht zutrifft, müssen sämtliche Zielbeiträge, die in Abhängigkeit von einer unsicheren Variante bis

zum Schluss des Planungshorizontes noch anfallen können, zusätzlich mit der Wahrscheinlichkeit dieser Variante gewichtet werden (3).

In der folgenden Abbildung 7 wird das Beispiel unsicherer Varianten, die von unternehmungsfremden Einflüssen mitbestimmt werden, in Graphenform dargestellt. Um einen Vergleich mit dem Fall zu ermöglichen, der in den Eventualplanungsansätzen von Teil 2 üblicherweise angenommen wird, haben wir einen Ausschnitt von Abbildung 5 dieser neuen Problemlage entsprechend abgeändert.

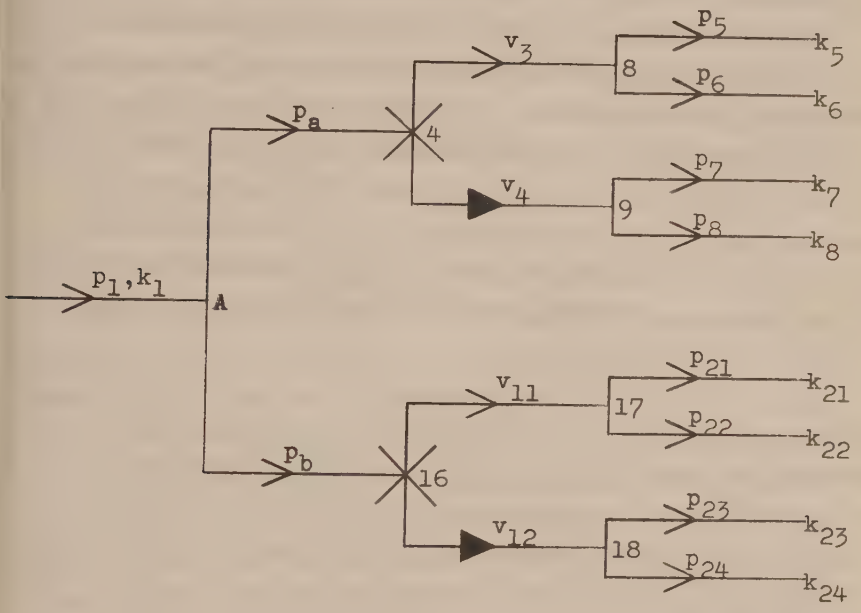

Abbildung 7: Unsichere, durch den Zielbeitrag nicht determinierte Varianten.

Wurde in Abbildung 5 angenommen, nach Eintritt der Konsequenz k_1 stünden dem Aktor mit Sicherheit die Varianten v_3 und v_4 zur Verfügung, so kann die-

ser gemäss Abbildung 7 stattdessen auch vor die Wahl zwischen v_{11} und v_{12} gestellt sein. Welcher der beiden Fälle tatsächlich eintritt, wird vom Zufall am Knotenpunkt A bestimmt. Die Wahrscheinlichkeiten der beiden Wahlmöglichkeiten sind mit p_a, beziehungsweise p_b gekennzeichnet. Zu beachten ist, dass p_a sowohl für v_3 wie für v_4, p_b für v_{11} wie für v_{12} Gültigkeit besitzt. Die zum selben Entscheidungsknotenpunkt gehörenden Varianten bestehen ja nebeneinander, während von den Konsequenzen, die vom gleichen Zufallsknotenpunkt ausgehen, stets nur eine eintritt.

Die Unsicherheit der Varianten hat zur Folge, dass nach Eintritt der Konsequenz k_1 die Konsequenzen k_7 und k_8 nicht mehr wie bei der Problemlage von Abbildung 5 mit den Wahrscheinlichkeiten p_7, beziehungsweise p_8, sondern nurmehr mit $p_a \cdot p_7$, beziehungsweise $p_a \cdot p_8$ erwartet werden können. Es bestehen ferner die beiden zusätzlichen Möglichkeiten "Eintritt von k_{23}" und "Eintritt von k_{24}", deren Wahrscheinlichkeiten mit $p_b \cdot p_{23}$, respektive $p_b \cdot p_{24}$ zu veranschlagen sind; unterstellt wurde dabei, dass v_{12} die bessere Variante darstellt und deshalb vom Aktor der Variante v_{11} vorgezogen würde, sollte dieser an den Entscheidungsknotenpunkt 16 statt den den Knotenpunkt 4 gelangen.

Würden sich an die Konsequenzen k_5 bis k_8, respektive k_{21} bis k_{24} weitere Problemstufen anschliessen, so wären die dabei auftretenden Konsequenzen ebenfalls zusätzlich mit p_a, beziehungsweise p_b zu gewichten. Die doppelte oder mehrfache Wahrscheinlichkeitsgewichtung ist im übrigen natürlich bei allen verbundenen unsicheren Ereignissen anzutreffen. Um solche handelt es sich auch bei Folgen von unsicheren Konsequenzen; treten unsichere Varianten hinzu, so bilden deren Wahrscheinlichkeiten lediglich z u s ä t z l i c h e Gewichtungsfaktoren für alle nachgeordneten Ereignisse.

Vollständigkeitshalber sei erwähnt, dass auch die Varianten, welche dem Aktor nach sicher zu erwartenden Zielkonsequenzen offenstehen, unsicher sein

können. Zur Verdeutlichung mag der Hinweis genügen, dass sich auch auf der zweiten oder auf einer späteren Stufe einer Entscheidungssequenz krankheitsbedingte Ausfälle wichtiger Mitarbeiter ereignen können. Am Problemlösungsverfahren für den Fall unsicherer Varianten, welches wir zuvor skizziert haben, ändert sich dadurch grundsätzlich nichts.

Zusammenfassend lässt sich somit feststellen, dass sich Einzelentscheid und Sequentialentscheid nicht, wie etwa Teichmann annimmt, durch die Notwendigkeit von Variantenprognosen voneinander unterscheiden (4). Von der Theorie wird das Problem unsicherer Varianten in beiden Fällen vernachlässigt. Es kann jedoch sowohl für den Einzelentscheid wie für den Sequentialentscheid im Sinne der Eventualplanung verhältnismässig einfach gelöst werden. Nur im Zusammenhang mit Sequentialentscheiden sind dabei die Eintreffenswahrscheinlichkeiten unsicherer Varianten von Bedeutung.

32.2 Die Ermittlung und Berücksichtigung der Konsequenzen und weiterer Auswirkungen der Strategien

Hat der Aktor vor einem Einzelentscheid die offenstehenden Varianten zusammengestellt, so sind als nächstes deren Konsequenzen zu bestimmen. Unter den Konsequenzen werden die Veränderungen in der Lage des Aktors, bezogen auf seine Zielsetzung, verstanden. Wie bereits die praktischen Beispiele in Kapitel 11.4 gezeigt haben, besteht eine Besonderheit sequentieller Problemstellungen darin, dass Strategien teilweise aus Varianten zusammengesetzt sein können, welche für sich keinen oder nur einen negativen Zielbeitrag erbringen und die daher im Rahmen eines Einzelentscheides eigentlich niemals zur Durchführung gelangen dürften. Diese Varianten können jedoch zu Auswirkungen anderer Art führen, welche ihren Einsatz als Teile von ganzen Strategien zu rechtfertigen vermögen. Allgemein betrachtet handelt es sich dabei um Auswirkungen, welche die Kapazität oder den Informationsstand des Aktors oder aber den Zustand der Umwelt betreffen.

Es ist zunächst nicht ohne weiteres deutlich, welche dieser weiteren Auswirkungen, konkret gesehen, neben den eigentlichen Zielkonsequenzen zu erfassen und wie sie bei der Strategiewahl zu berücksichtigen sind. Die dabei zu befolgende Richtlinie kann wie folgt ausgedrückt werden: Nur solche Kapazitäts-, Situations- und Informationsveränderungen sind von Bedeutung, die innerhalb des Planungshorizontes direkt oder indirekt die offenstehenden Varianten, die Zielkonsequenzen oder die Eintreffenswahrscheinlichkeiten von Varianten und Zielkonsequenzen, beziehungsweise das Wissen des Aktors über diese Grössen beeinflussen. Demgemäss sind diese Wirkungen bei der Entscheidfällung auch nicht als solche, sondern in der Form der Veränderungen, die sie bei den genannten Grössen verursachen, zu berücksichtigen.

Das Muster eines entsprechenden Vorgehens ist für den Fall von Kapazitätsveränderungen bereits am Beispiel von Abbildung 7 zu erkennen: Als zusätzlich zur Zielkonsequenz k_1 zu erwartende Ergebnisse sind im Entscheidungsbaum anstelle zweier Kapazitätsgrössen direkt die aus diesen ableitbaren Verhaltensmöglichkeiten v_3 und v_4, respektive v_{11} und v_{12} aufgeführt worden. In grundsätzlich gleicher Weise berücksichtigt die statistische Entscheidungstheorie mögliche Zusatzinformationen, wenn sie unter Anwendung des Theorems von Bayes damit Wahrscheinlichkeitsurteile verbessert, an den Informationen selbst hingegen nur mittelbar interessiert ist. Analog ist schliesslich zu verfahren, falls Varianten die Situation beeinflussen, in der andere Varianten derselben Strategie zum Tragen kommen. Dies wirkt sich ja auf die möglichen Ergebnisse der anderen Varianten oder deren Eintreffenswahrscheinlichkeiten aus.

Es ist denkbar, dass ein und dieselbe Variante sowohl Zielkonsequenzen als auch Kapazitäts-, Informations- und Situationsveränderungen zur Folge hat. Wie schon aus Abbildung 7 hervorgeht, in der Zielkonsequenzen und Kapazitätswirkungen der (nicht gezeigten) Variante v_1 erscheinen, beeinträchtigt dies die Gültigkeit der aufgestellten Richtlinie nicht. Führt eine Variante zu

mehreren oder allen der genannten Arten von Wirkungen und sind die möglichen Ergebnisse nur mit Wahrscheinlichkeiten bekannt, so ergibt sich aus diesem Umstand lediglich eine mehrfache Wahrscheinlichkeitsgewichtung der verschiedenen Sequenzfortsetzungen. Gleich wie Zielkonsequenzen können Kapazitäts-, Informations- und Situationsveränderungen im übrigen in den verschiedenen in Kapitel 11.3 behandelten Formen der Unsicherheit auftreten oder in Grenzfällen als sicher betrachtet werden.

Eine weitere praktische, nicht aber prinzipielle Schwierigkeit ist darin zu erblicken, dass bei Sequentialentscheiden nicht nur diejenigen Kapazitäts-, Informations- und Situationsveränderungen zu berücksichtigen sind, welche direkt die Varianten, Zielkonsequenzen oder Wahrscheinlichkeiten des Planungshorizontes, beziehungsweise das entsprechende Wissen des Aktors beeinflussen, sondern auch solche, die dies indirekt tun. Es dürfen demnach beispielsweise auch Auswirkungen auf die Situation, die beim Einsatz von lediglich kapazitätsverändernden Massnahmen herrschen wird, nicht vernachlässigt werden, wenn die betreffenden Kapazitätsveränderungen noch für denselben Sequentialentscheid von Bedeutung sind.

Die Wechselbeziehungen, welche zwischen den verschiedenen Stufen einer Entscheidungssequenz bestehen können, erfordern entsprechende Vorsicht bei der Bestimmung der Zielkonsequenzen und der erwähnten weiteren Auswirkungen von Varianten. (Einfachheitshalber sei im folgenden nur von den Zielkonsequenzen, das heisst den eigentlichen Konsequenzen, die Rede.) Nicht nur können die Konsequenzen später verwirklichter Varianten von denjenigen früher ergriffener Massnahmen - sowie von diesen selbst, falls sie sich noch in Kraft befinden oder nachwirken - beeinflusst werden; es ist ebenfalls möglich, dass sich die weiterhin eintreffenden Zielbeiträge früherer Massnahmen unter dem Einfluss nachfolgender Varianten und/oder deren Konsequenzen verändern (5).

Zur systematischen Berücksichtigung dieser verschiedenen Abhängigkeitsarten

kann wie folgt vorangegangen werden: Es sind zunächst die Konsequenzen der ersten Massnahme der betrachteten Strategie bis zu jenem Zeitpunkt zu prognostizieren, zu dem die zweite Variante in Kraft tritt. Dazu ist ein Prognosemodell zu verwenden, das, neben allfälligen weiteren Bestimmungsfaktoren, die bewusste Massnahme als unabhängige Grösse enthält. Vom genannten Zeitpunkte an bis zum Einsetzen der dritten Variante ist mit einem Prognosemodell zu arbeiten, welches die erste Variante, die bereits eingetretenen Konsequenzen und die zweite Variante als erklärende Grösse (möglicherweise wiederum neben anderen) verwendet. Nach diesem Muster ist bis zur letzten Variante der Strategie fortzufahren. Mit der möglichen Ausnahme der ersten Stufe geht es somit, statistisch gesehen, um multiple Regressionen oder, falls mehrere Konsequenzarten vorauszusagen sind, um kanonische Analysen. Im allgemeinen Fall nimmt dabei die Zahl der unabhängigen Variablen von Stufe zu Stufe zu; ausserdem sind die zeitlichen Beziehungen zwischen den verschiedenen Modellgrössen zu beachten. Bedenkt man schliesslich, dass zur Ermittlung der statistischen Zusammenhänge entsprechende Grunddaten nötig sind, so dürfte vollends deutlich werden, dass die Prognose der Konsequenzen einer Strategie eine ausserordentlich schwierige Aufgabe darstellen kann. Da die angedeuteten Probleme auch bei Einzelentscheiden (siehe Anmerkung 5) und in weiteren Zusammenhängen auftreten und von der Statistik behandelt werden, kann auf eine eingehende Erörterung der technischen Aspekte hier verzichtet und stattdessen auf die einschlägige Literatur hingewiesen werden (6).

32.3 Die Ziele des Aktors und die Bewertung der Konsequenzen

Hat man zwischen zwei oder mehreren Verhaltensweisen zu wählen, welche zu ganzen Ketten von zeitlich aufeinanderfolgenden Konsequenzen führen können, so bestehen nur ausnahmsweise Dominanzbeziehungen, die einen unmittelbaren Entscheid ermöglichen. In der Regel ist es unumgänglich, die Konsequenzenflüsse der verschiedenen Verhaltensmöglichkeiten zuerst in je einem einzigen

Ziel- oder Nutzenwert auszudrücken, der sie miteinander vergleichbar macht. Diese Aufgabe unterscheidet sich nicht grundsätzlich von derjenigen, vor die ein Aktor bekanntlich gestellt ist, wenn Varianten während desselben Zeitabschnittes mehrere Auswirkungen haben können. Der bei Konsequenzenflüssen neu ins Spiel kommende Zeitfaktor wirft jedoch gewisse zusätzliche Probleme auf, von denen in diesem Kapitel kurz die Rede sein soll.

Wie man weiss, ist es einem Entscheidenden normalerweise nicht gleichgültig, ob eine bestimmte Konsequenz schon morgen oder erst in einem Jahr eintritt. Er hegt vielmehr zumeist sogenannte Zeitpräferenzen. Theorie und Praxis suchen diesen mit dem Mittel der Auf- oder Abzinsung auf einen Basiszeitpunkt Rechnung zu tragen. Es bestehen jedoch ernsthafte Zweifel, ob dies damit in jedem Falle gelingt. Konkret geht es um die Frage, ob ein rational handelnder Aktor beispielsweise zwischen zwei Zahlungsströmen, die zum gleichen Kapitalwert führen, stets indifferent sein werde. Wie wir bereits im Zusammenhang mit der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung erwähnten, gibt es offenkundig auch Vorlieben für bestimmte Formen des Konsequenzenflusses. Boyd und Cazalet berichten aus der Praxis von einer Unternehmungsleitung, welche die Möglichkeit langsam, aber beständig zunehmender Gewinne anderen Verhaltensweisen vorzog, die sogar zu höheren Kapitalwerten, gleichzeitig aber auch zu stark schwankenden Jahresergebnissen geführt hätten (7). Harvey Wagner betrachtet eine derartige Wahl als irrational und argumentiert, bei einem grösseren Kapitalwert liesse sich durch Reinvestierungen und Kreditaufnahmen jeder Gewinnfluss, der einen geringeren Kapitalwert verkörpere, ebenfalls erzielen, wobei dem Aktor noch ein Ueberschuss verbleibe. Er räumt aber ein, dass diese Möglichkeit praktisch nicht immer gegeben sei (8).

Wir müssen somit davon ausgehen, dass Präferenzen bezüglich der Form des Konsequenzenflusses bei gewissen Entscheiden eine Rolle spielen. In diesen Fällen ist es nicht zulässig, den Gesamtwert einer Kette von Konsequenzen auf dem üblichen analytischen Wege, das heisst über unabhängige Bewertungen

der einzelnen Glieder, zu ermitteln. Der Versuch, eine Kette von Konsequenzen als Ganzes zu bewerten, beschwört allerdings die bekannten Gefahren summarischen Vorgehens, wie die Ueberbetonung gewisser Einzelheiten und die völlige Vernachlässigung anderer Aspekte (9), herauf. Diese Gefahren dürften bestehen, auch wenn, wie in der vorangehenden Diskussion unterstellt wurde, der Fluss sich aus einer einzigen Art von Konsequenzen zusammensetzt und sozusagen lediglich in der Wasserführung Aenderungen unterworfen ist. Zusätzlich zu den unter Umständen sehr unregelmässigen, komplizierten Formen der mengenmässigen Verteilungen als solchen hat der Aktor ja immer auch deren genaue zeitliche Lage zu beachten.

Die summarische Bewertungsmethode ist ebenfalls nicht zu umgehen, wenn der Nutzenwert einer Konsequenz davon abhängt, welche A r t e n von Konsequenzen zuvor und/oder danach anfallen. Peter Fishburn veranschaulicht diesen Typus zeitlicher Zusammenhänge anhand eines kulinarischen Beispieles: Lädt man jemanden für den nächsten Abend zu einem Hummer-Essen ein, so wird sich dieser darob wesentlich mehr freuen, wenn ihm für heute ein Steak und nicht auch schon ein Hummer bevorsteht. Baut man das Beispiel ein wenig aus, so lässt sich daran zeigen, dass die Nichtberücksichtigung derartiger Abhängigkeiten zu logischen Widersprüchen führen kann. Die erwähnte Person weise die folgenden Präferenzen auf (die verschiedenen Klammerausdrücke enthalten jeweils die beiden Essen in der richtigen Reihenfolge):

(Steak, Steak) < (Steak, Hummer);
(Hummer, Hummer) < (Hummer, Steak).

Bei einer isolierten Betrachtung der verschiedenen Konsequenzen zieht die Person nach ihrem ersten Urteil einen Hummer einem Steak vor; mit ihrem zweiten Urteil scheint sie jedoch das Gegenteil zu behaupten (10).

Steht ein Aktor vor der Notwendigkeit, eine ganze Konsequenzenkette zu bewerten, so muss er sich grundsätzlich auch fragen, ob sein Zielsystem wäh-

rend deren gesamter Dauer unverändert bleiben werde. Ist dies nicht zu erwarten, so müssten verschiedene Teile der Kette nach unterschiedlichen Massstäben beurteilt werden. Das setzt allerdings voraus, dass sich die Zielveränderungen zumindest in der Form verschiedener Möglichkeiten prognostizieren lassen (11); auf dem Wissen um einen bevorstehenden Wandel als solchem kann eine vernünftige Planung für die Zeit danach noch nicht aufgebaut werden.

Betreffen die voraussehbaren Veränderungen im Zielsystem des Aktors lediglich quantitativ definierte Anspruchsniveaus, die relativen Gewichte eines Bündels gleichbleibender Ziele oder die Risikoneigung, so wirft ihre Berücksichtigung unseres Erachtens theoretisch keine besonderen Probleme auf. Anders, wenn die zunächst verfolgten Ziele im Zeitverlaufe von inhaltlich anderen abgelöst werden. Nehmen wir beispielsweise an, ein Aktor stehe vor dem Entscheid, ein eigenes Geschäft zu eröffnen oder die Angestelltenlaufbahn einzuschlagen. Im Augenblick und für die nächsten Jahre sei ihm an einem möglichst hohen persönlichen Einkommen gelegen. Er könne jedoch bereits den Zeitpunkt voraussagen, an dem das Ziel der Einkommensmaximierung vom Motiv einer möglichst beschaulichen Lebensgestaltung verdrängt werde. Dominiert nun nicht eine der genannten Entscheidungsmöglichkeiten die andere bezüglich der Erreichung beider Ziele, so erhebt sich die Frage nach der vergleichsweisen Bedeutung von möglichen Einkommenshöhen und Graden der Beschaulichkeit. Man könnte versuchen, sie mit Hilfe der bekannten Nutzenexperiment-Methode zu beantworten (12). Bei dieser wird jedoch unseres Wissens bisher stets nur mit Möglichkeiten der Wahl zwischen gleichzeitig verfügbaren Dingen gearbeitet. Der Aktor dürfte überfordert sein, wenn er aufgefordert wird, seine Präferenzen nicht nur zwischen verschiedenen Dingen, sondern zugleich zwischen verschiedenen Zeitpunkten auszudrücken. Kann er die Befriedigung, die er heute an einem Einkommen von einer bestimmten Höhe empfinden würde, gegenüber derjenigen, die ihm ein beschaulicher Lebensstil in etlichen Jahren verschaffen würde, abwägen? Verschiedene Autoren verneinen dies; Gäfgen zieht daraus den wohl unausweichlichen Schluss, dass eine Ge-

samtplanung nur im Rahmen konstanter Ziele möglich sei und ein Zielwechsel eine neue Planung erforderlich mache (13).

32.4 Arten und Bedeutung der Abhängigkeit zwischen Entscheidstufen

In vorangehenden Teilen dieser Arbeit wurde verschiedentlich (vor allem im Zusammenhang mit Rollback-Analyse und dynamischer Programmierung) von Unabhängigkeit zwischen den Entscheidstufen gesprochen. Inhalt und Bedeutung dieser Erscheinung wurden dabei nur angedeutet. Ihre Vielschichtigkeit ist inzwischen besser zu erkennen, denn die Kapitel 32.1, 32.2 und 32.3 haben unter anderem gezeigt, dass sowohl die Varianten, die an einem bestimmten Entscheidungsknoten zur Auswahl stehen, als auch die Wirkungen, die sie erzeugen, wie schliesslich die Werturteile des Aktors von früher verwirklichten und/oder später durchzuführenden Entscheiden mitbestimmt sein können. Nur wenn keine dieser Abhängigkeitsarten vorliegt, kann die Entscheidsituation am betreffenden Knotenpunkt als wirklich unabhängig bezeichnet werden; nur in einem solchen Fall ist es strenggenommen gerechtfertigt, einen Einzelentscheid zu fällen (14). Daraus wiederum ergibt sich, dass der in der Literatur bei gewissen sequentiellen Problemen verwendete Ausdruck "Unabhängigkeit" eigentlich vermieden oder aber präzisiert werden sollte; zwischen aufeinanderfolgenden Entscheidknoten herrscht hier stets eine bestimmte, allenfalls sehr milde Form der Abhängigkeit; es kann also bestenfalls von teilweiser Unabhängigkeit gesprochen werden.

Stellen Abhängigkeiten zwischen den Teilentscheiden somit ein typisches Merkmal von Sequentialproblemen dar, so interessiert die Frage, ob sie bei der Entscheidfindung zu besonderen Schwierigkeiten führen und worin solche bestehen. Hinsichtlich der Entscheidphasen "Ermittlung der offenstehenden Strategien", "Bestimmung der zu erwartenden Konsequenzen" und "Bewertung der möglichen Konsequenzen" wurden die Antworten in den drei vorangehenden Ka-

piteln vorweggenommen. Es bleibt deshalb nurmehr die Bedeutung von Abhängigkeiten bei der Wahl der zu befolgenden Strategie zu untersuchen. Erfolgt diese ausschliesslich auf Grund der Gesamtwerte der in Betracht gezogenen Strategien, dann ist den früheren Ausführungen offenkundig nichts beizufügen. Hingegen ist abzuklären, wie sich Abhängigkeiten auswirken, wenn die Strategie unter Ausnutzung des Optimalitätsprinzips von Bellman, das heisst durch ein schrittweises Zusammensetzen aus optimalen Teilstrategien, bestimmt werden soll. Die Erläuterungen seien anhand von Abbildung 8 verdeutlicht.

Einfachkeitshalber wird von einem Sequentialentscheid mit sicheren Konsequenzen ausgegangen; die Aussagen gelten aber sinngemäss auch für entsprechende quasisichere und stochastisch unsichere Probleme. Im oberen Teil von Abbildung 8 wird lediglich der Variantenbaum, im unteren Teil der Entscheidungsbaum des Problembeispieles wiedergegeben. Im Unterschied zu früheren Abbildungen werden im Entscheidungsbaum die Konsequenzen k_n als solche und die entsprechenden Zielbeiträge oder Nutzenwerte $u(k_n)$ auseinandergehalten. Das Beispiel ist unvollständig; gleichzeitig neben v_1 offenstehende Varianten sind nicht berücksichtigt.

Die Anwendung des Optimalitätsprinzips auf den Entscheidungsbaum von Abbildung 8 bedeutet unter anderem, dass ein endgültiger Entscheid zwischen den beiden Varianten (oder Teilstrategien) v_4 und v_5 allein auf Grund der entsprechenden Nutzenwerte $u(k_4)$ und $u(k_5)$ gefällt wird. Das setzt voraus, dass dieses Präferenzurteil nicht beim nächsten oder übernächsten Optimierungsschritt, das heisst, bei Berücksichtigung der vorangehenden Varianten v_2 und v_1, beziehungsweise der Konsequenzen k_2 und k_1, wieder umgestossen werden kann. Es darf also, um das Beispiel von Fishburn aus dem letzten Kapitel wieder aufzunehmen, nicht vorkommen, dass der Aktor zunächst für das zweite Abendessen den Hummer einem Steak vorzieht, sich dann aber doch für das Steak entscheidet, wenn er nachträglich Kenntnis davon nimmt, dass für

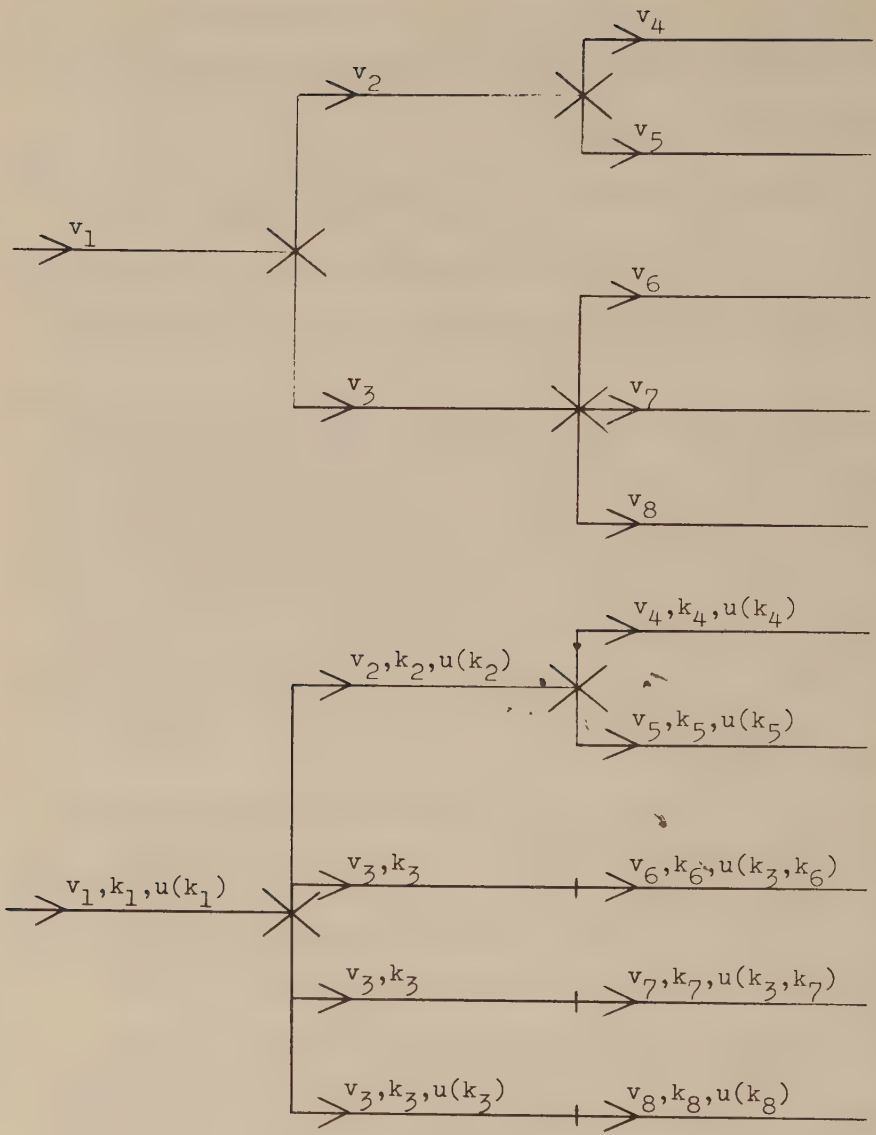

Abbildung 8: Dreistufige Entscheidungssequenz; Nutzenwerte nur zum Teil stufenindividuell.

den ersten Abend schon ein Hummer auf dem Plan steht. Analog muss gefordert werden, dass sich das Eintreffen der Konsequenzen k_4 und k_5 oder die Verfügbarkeit der Varianten v_4 und v_5 nicht beim Einbezug weiterer Entscheidstufen als illusorisch entpuppen.

Die genannten Voraussetzungen für die Anwendbarkeit des Optimalitätsprinzips werden oft in der Forderung zusammengefasst, der Entscheidungsprozess müsse die sogenannte Markoff-Eigenschaft aufweisen. Diese besagt, dass zum Treffen optimaler Teilentscheide in Blick auf deren "Vorgeschichte" nicht vonnöten sei, sondern die Kenntnis der jeweiligen Ausgangslage ausreiche (15). Es liegt nahe, daraus zu schliessen, die Vorgeschichte eines Entscheides dürfe auf diesen keinen Einfluss ausüben, dieser habe unabhängig zu sein vom vorangehenden Verhalten des Aktors. Dass dies nicht zutrifft, geht bereits aus dem Rat hervor, den etliche Autoren für den Fall erteilen, dass die Markoff-Eigenschaft nicht gegeben sein sollte und der darin besteht, die Definition der Lage um diejenigen Grössen zu erweitern, deren bisher nicht berücksichtigter Einfluss sich noch bemerkbar macht (16). Im Grenzfall gelangt man auf diese Weise natürlich zur Erfassung der vollständigen Vorgeschichte des Prozesses. Abhängigkeiten als solche stellen die Anwendbarkeit des Optimalitätsprinzipes somit durchaus nicht in Frage. Es ist auch nicht erforderlich, sie in der Form entsprechend definierter Lagevariablen in den Entscheidungsvorgang einzubeziehen. Grundsätzlich können sie ebensogut ohne solche Hilfsgrössen bei der Bestimmung der offenstehenden Varianten, der zu erwartenden Konsequenzen und der Nutzenwerte berücksichtigt werden.

Wie die Kapitel 32.1 bis 32.3 gezeigt haben, erschweren Abhängigkeiten von einer oder mehreren vorangehenden Stufen zwar oftmals die Festlegung von Entscheiddaten erheblich. Sie wirken sich jedoch bei einem Sequentialentscheid, der nach dem Optimalitätsprinzip getroffen wird, nicht anders aus als bei einem solchen, der nach einem Vergleich der verschiedenen Gesamtstrategien fällt - sofern sich die Gesamtnutzenwerte durchwegs aus den Zielbeiträgen der ein-

zelnen Stufen ergeben. Dies zum einen deshalb, weil für beide Vorgehensweisen stets dieselben Grunddaten benötigt werden; zum andern, weil unter der genannten Voraussetzung auch der dem Bellmanschen Verfahren eigene Vorteil geringeren Aufwandes durch Abhängigkeiten nicht beeinträchtigt wird. Letzteres ist im folgenden noch näher darzulegen.

Dass der Aktor im Beispiel von Abbildung 8 im ersten Optimierungsschritt bereits endgültig zwischen den Varianten v_4 und v_5 zu entscheiden vermag und dass er danach nur noch die bessere dieser beiden Möglichkeiten mit v_2 zu kombinieren braucht, verlangt nicht nur die Berücksichtigung aller Abhängigkeiten, die seine Wahl beeinflussen können; es bedingt auch, dass der Durchführung von v_4 oder v_5 überhaupt ein Eigenwert beigemessen werden kann. Zur Erläuterung der Bedeutung dieser Voraussetzung wurde angenommen, jeder der Konsequenzen k_6 und k_7 komme lediglich zusammen mit k_3 ein Gesamtwert zu, was mit der Schreibweise $u(k_3,k_6)$, beziehungsweise $u(k_3,k_7)$ ausgedrückt wird (17). Es ist dabei nicht mehr möglich, allein den Gesamtnutzen von v_3 und der günstigeren der beiden Varianten v_6 und v_7 zu bestimmen. Formal gesehen, könnte man die Wahl zwischen v_6 und v_7 zwar immer noch nach dem Optimalitätsprinzip vornehmen: Da die Erlangung der Zielbeiträge $u(k_3,k_6)$ und $u(k_3,k_7)$ bedingt, dass anschliessend an Variante v_3 noch Variante v_6, respektive Variante v_7 durchgeführt wird, dürfen diese Nutzenwerte erst nach der zweiten und letzten an ihrer Erbringung beteiligten Strategiekomponente in das Kalkül eingesetzt werden. Es könnte deshalb an dieser Stelle definitiv zwischen v_6 und v_7 entschieden werden; zum günstigeren Nutzenwert $u(k_3,k_6)$ oder $u(k_3,k_7)$ wäre beim nächsten Optimierungsschritt ein entsprechender Pseudo-Zielbeitrag $u(k_3) = 0$ hinzuzuschlagen. Da im dargestellten Beispiel weiter angenommen wurde, die Durchführung der Teilsequenz v_3,v_8 würde zu zwei eigenständigen Zielbeiträgen $u(k_3)$ und $u(k_8)$ führen, müsste allerdings zunächst noch der Gesamtnutzen der letzteren bestimmt werden (18). Das Vorgehen zur Beseitigung dieser zusätzlichen Hürde macht es überdeutlich: Obwohl sich das Optimalitätsprinzip bei sequentiellen Entscheidungen theoretisch immer

anwenden lässt, stellt sich der vielgepriesene Vorteil der Aufwandverringerung nur insoweit ein, als nicht unlösbare Probleme der sequentiellen Nutzenzurechnung den Aktor praktisch dennoch zur Ermittlung der Gesamtwerte aller möglichen Variantenkombinationen zwingen.

Dass das Fehlen eigenständiger Nutzenwerte für die Varianten v_6 und v_7 materiell in jedem Falle einen Einbezug von v_3 in die Wahl zwischen v_6, v_7 und v_8 erfordert, wird im Entscheidungsbaum von Abbildung 8 durch die getrennte Aufführung der Teilstrategien v_3,v_6, v_3,v_7 und v_3,v_8 dargestellt (man vergleiche dazu den entsprechenden Teil des Variantenbaumes). Es zeigt sich anhand der Abbildung 8 andererseits aber auch, dass beim angenommenen Beispiel die aufwandmindernde Wirkung des Optimalitätsprinzips teilweise erhalten bleibt: die Varianten v_1 und v_2 brauchen lediglich mit den optimalen Fortsetzungen verbunden zu werden. Leicht vorstellbar ist ferner die Folge, die sich ergäbe, wenn einer oder mehreren der möglichen Strategien über d r e i Stufen nur ein Gesamtwert beigemessen werden könnte; es wären dann eine Enumeration und ein Vergleich der verschiedenen Gesamtstrategien nach dem Grundmuster der Entscheidungstheorie nötig.

Aus dem Gesagten lässt sich ableiten, dass die Anwendung des Optimalitätsprinzips bei der Strategiebestimmung genau so lange einen Vorteil mit sich bringt, als mindestens eine der beim zweiten oder einem der folgenden Optimierungsschritte untersuchten Varianten einzeln zu allen daran anschliessenden Strategiefortsetzungen hinzugefügt werden kann. Das heisst, dass die Nutzenfunktion an wenigstens einem der Variantenknotenpunkte t r e n n b a r sein muss (19). Die Forderung nach Addierbarkeit der Stufennutzen, die von verschiedenen Autoren (20) erhoben wird, geht hingegen zu weit; es spielt grundsätzlich keine Rolle, mit welcher mathematischen oder andersartigen Operation der Nutzen eines zusätzlichen Variante mit den Zielbeiträgen der bereits festgelegten Strategieteile verbunden wird (21). Wie es sich gezeigt hat, braucht - im Gegensatz zur herrschenden Literaturmeinung - die Addier-

barkeit, beziehungsweise Trennbarkeit der Nutzenfunktion durchaus nicht für a l l e Komponenten einer Entscheidungssequenz gegeben zu sein, damit man sich Bellmans Optimalitätsprinzip zunutzemachen kann.

Insgesamt kann zu den Abhängigkeiten zwischen Entscheidstufen somit folgendes festgehalten werden:

- Die aufeinanderfolgenden Verhaltensentscheide, welche in einer sequentiellen Problemstellung zusammengefasst sind, weisen notwendigerweise Abhängigkeiten untereinander auf; ansonsten könnten sie als Einzelentscheide behandelt werden.
- Diese Abhängigkeiten können die offenstehenden Varianten, deren Auswirkungen, sowie die Werturteile des Entscheidenden betreffen.
- Abhängigkeiten der genannten Art machen die Bestimmung der Problemdaten bei Sequentialentscheiden oft zu einer schwierigen Aufgabe.
- Eine stückweise Zusammenstellung der zu befolgenden Strategie nach dem Optimalitätsprinzip ist trotz Abhängigkeiten zwischen den Komponenten formal immer möglich. Eine Abnahme des Aufwandes zur Entscheidfindung ist damit aber nur zu erzielen, wenn die Nutzenfunktion an mindestens einem Variantenknoten vollständig trennbar ist.

32.5 Die Möglichkeit des Informationszuwachses während der Durchführung einer Entscheidungssequenz

Ein rationales einstufiges Verhalten wird ausschliesslich von Informationen bestimmt, die v o r seiner Verwirklichung verfügbar sind. Für die endgültige Zusammensetzung einer Verhaltenssequenz spielen hingegen zumeist auch solche Informationen eine wesentliche Rolle, die erst nach Beginn der Durchführung eintreffen. Dieser Tatsache, vor allem aber den sich daraus ergebenden Fragen, wird in der Literatur zum Sequentialentscheid (sieht man vom be-

reits behandelten Sonderfall der statistischen Entscheidungstheorie ab) kaum Beachtung geschenkt.

Bekanntlich wappnet sich ein Aktor gegen ein sequentielles Problem bei Unsicherheit am besten dadurch, dass er für jede Stufe und für jede mögliche Entwicklung aufeinander abgestimmte, bedingte Entscheide vorbereitet. Eine solche Eventualplanung ist freilich nur dann sinnvoll, wenn der Aktor zu gegebener Zeit auch Angaben darüber erhält, welche Bedingung tatsächlich eingetreten ist. Informationen, welche dazu Aufschluss erteilen, nennen wir, in Anlehnung an einen von Erich Frese geprägten Begriff, K o n t r o l l i n f o r m a t i o n e n (22).

In der Literatur wird nun fast durchwegs angenommen, die nötigen Kontrollinformationen stellten sich, zeitgerecht, zuverlässig und kostenfrei, von selbst ein. Es sei keineswegs bestritten, dass dies in manchen Fällen zutrifft; dass also die Auswirkungen des vorangehenden Verhaltens des Aktors, die Züge anderer Spieler, sowie autonome Situationsentwicklungen, welche zur Bestimmung des weiteren Vorgehens bekannt sein müssen, oftmals wirklich ohne weiteres erkennbar sind. Tatsache ist aber, dass dies durchaus nicht immer der Fall ist; es interessiert deshalb, zu welchen Folgen eine Aufhebung der genannten Voraussetzungen führen würde.

Zuerst sei der Extremfall untersucht, dass Kontrollinformationen überhaupt nicht verfügbar sind (23). Ein praktisches Beispiel dafür wurde bereits im Zusammenhang mit der Spieltheorie genannt: Einem Anbieter kann es unmöglich sein, zu erfahren, welcher Argumentation sich seine Konkurrenten zuvor beim selben Kunden bedient haben. Im gleichen Kapitel wurde allerdings auch schon darauf hingewiesen, dass direkte Informationen über die vorausgegangene Entwicklung dann nicht erforderlich sind, wenn sich diese aus den anschliessend offenstehenden Varianten ableiten lässt. Das bedingt jedoch, dass Entwicklungen jeglicher Art, die stattgefunden haben und die für die Fortsetzung der Se-

quenz von Bedeutung sind, mit unterschiedlichen Kapazitätswirkungen einhergehen, was selten zutreffen dürfte (vgl. hiezu die Kapitel 32.1 und 32.2). Zudem setzt die Kenntnis der spezifischen offenen Wahlmöglichkeit ihrerseits entsprechende Kontrollinformationen voraus, womit der angenommene Extremfall nicht mehr gegeben wäre.

Geht man demgegenüber davon aus, dass während der Durchführung einer Entscheidungssequenz tatsächlich keinerlei Kontrollinformationen zur Verfügung stehen werden, so lässt sich das Verhalten unseres Erachtens nur dann noch vorausplanen, wenn die dem Aktor offenstehenden Varianten weder von Aktionen anderer Spieler, noch von solchen der Natur abhängen. Eine derartige teilweise Unabhängigkeit zwischen den verschiedenen Entscheidstufen ist in Abbildung 9 dargestellt; diese entspricht zu Vergleichszwecken möglichst weitgehend dem Grundschema eines zweistufigen Spiels gegen die Natur gemäss Abbildung 5. Der einzige Unterschied des in Abbildung 9 wiedergegebenen Entscheidungsproblems gegenüber demjenigen von Abbildung 5 besteht darin, dass auf der zweiten Stufe dieselben Varianten (v_3 und v_4, beziehungsweise v_5 und v_6) zur Auswahl stehen, gleichgültig welche der möglichen Entwicklungen (symbolisiert durch k_1 und k_2, respektive k_3 und k_4) sich im Anschluss an das zuerst gewählte Verhalten (v_1 oder v_2) eingestellt hat. Zu beachten ist, dass jede der Varianten v_3, v_4, v_5 und v_6 mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten zu unterschiedlichen Konsequenzen führt, wenn ihr eine andere Entwicklung vorausgeht. Wären jeweils weder Konsequenzen noch Wahrscheinlichkeiten verschieden, so müsste von vollständiger Unabhängigkeit zwischen den Wahlmöglichkeiten gesprochen werden und diese könnten als drei Einzelentscheide behandelt werden. Nach wie vor um eine sequentielle Problemstellung würde es sich hingegen handeln, wenn die auf der zweiten Stufe offenstehenden Varianten auch nicht vom zuerst getroffenen Verhaltensentscheid abhingen, wenn also beispielsweise sowohl nach v_1 als auch nach v_2 (sowie den danach möglichen Verhaltensweisen der Natur) die Varianten v_3 und v_4 zur Verfügung ständen.

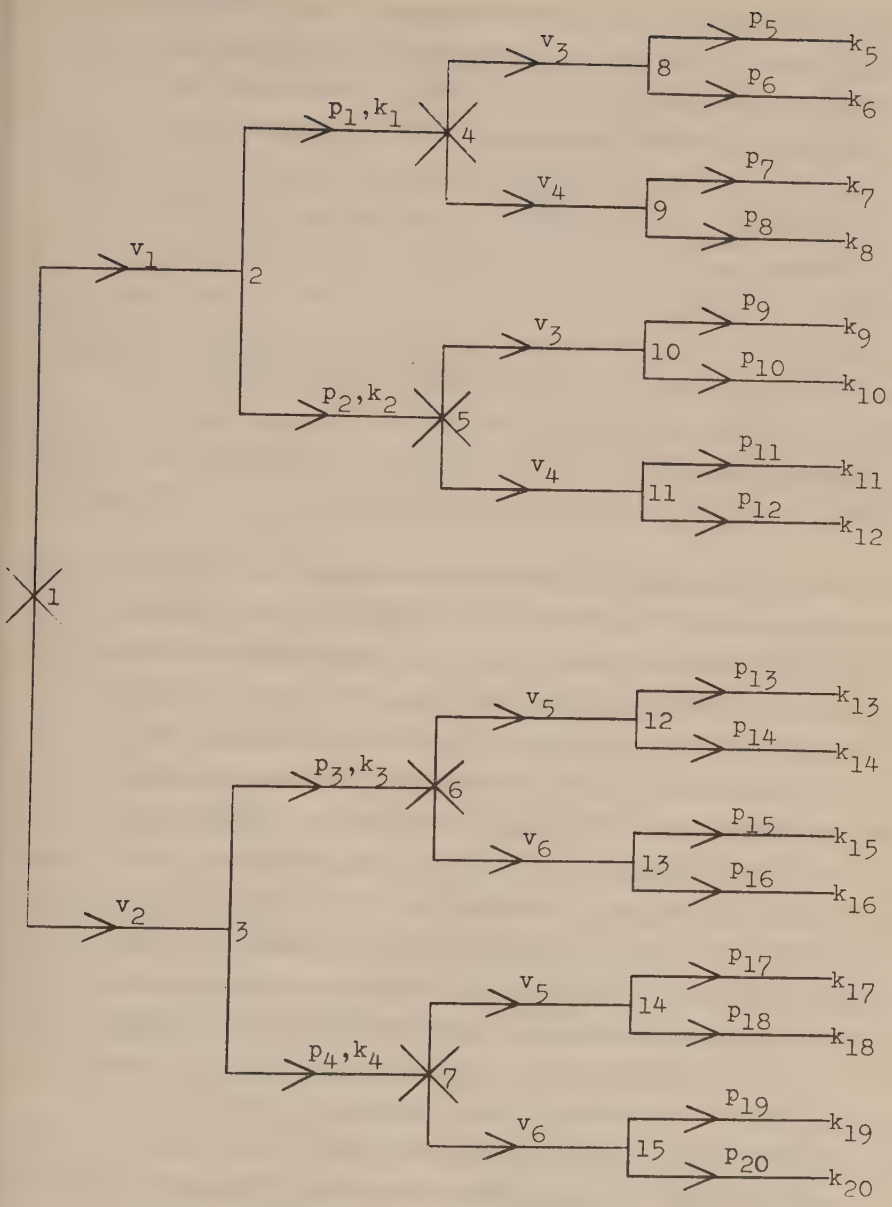

Abbildung 9: Zweistufiges Spiel gegen die Natur; Varianten unabhängig vom Zufall.

Der Umstand, dass nicht mit Kontrollinformationen gerechnet werden kann, hat zur Folge, dass der Aktor sich trotz Unsicherheit eine unbedingte Strategie zurechtlegen muss. Am Beispiel von Abbildung 9 bedeutet dies, dass er sich von Anfang an endgültig zugunsten einer der vier möglichen Strategien (v_1,v_3), (v_1,v_4), (v_2,v_5) oder (v_2,v_6) entscheidet. Er kann sich also nicht zunächst nur auf v_1 oder v_2 festlegen und erst nachdem die Natur ihren Zug getan hat darauf mit der vorbereiteten optimalen Fortsetzung v_3 oder v_4, beziehungsweise v_5 oder v_6 antworten. Bemerkenswert ist ferner, dass zur Bestimmung einer unbedingten Strategie bei Unsicherheit das Optimalitätsprinzip nicht anwendbar ist (24). Nach diesem werden ja die optimalen Teilstrategien ermittelt auf Grund der Annahme, der Aktor sei imstande, während der Verwirklichung einer Strategie die Lage richtig zu beurteilen und sein weiteres Verhalten dementsprechend anzupassen (25).

Es braucht hier nicht untersucht zu werden, wie häufig es in der Praxis tatsächlich technisch unmöglich sein dürfte, Kontrollinformationen zu erhalten. Einerseits zeigt das konstruierte spieltheoretische Beispiel wohl zur Genüge, dass mit dem Fall durchaus zu rechnen ist. Andererseits sind die vorangehenden Ueberlegungen ohnehin bedeutsamer für sequentielle Probleme, bei denen Kontrollinformationen zwar beschaffbar, nicht aber kostenfrei sind. Zu denken ist dabei etwa an die Messung der Auswirkungen von Werbemassnahmen, welche sehr aufwendig sein kann. Es ist selbstverständlich, dass man Kontrollinformationen benützt, wenn dies, wie die Literatur unterstellt, mit keinen Kosten verbunden ist. Trifft diese Annahme jedoch nicht zu, dann ist zu prüfen, ob sich die Beschaffung dieser Informationen mit der dadurch möglichen besseren Verhaltenssteuerung rechtfertigen lässt. Der Nutzenüberschuss, den die beste bedingte Strategie gegenüber der besten unbedingten erwarten lässt, müsste die zusätzlichen Kosten mindestens aufwiegen. Nimmt man an, im Beispiel von Abbildung 9 bestehe die optimale bedingte Strategie darin, zunächst Variante v_2 und danach bei Eintreffen von k_3 Variante v_5, im Falle von k_4 aber Variante v_6 durchzuführen; unterstellt man ferner, die gün-

stigste unbedingte Strategie sei v_2, v_6 und bezeichnet man die Kosten der Kontrollinformationen mit C_k, dann ist also zu fordern:

$$(p_3k_3 + p_3p_{13}k_{13} + p_3p_{14}k_{14} + p_4k_4 + p_4p_{19}k_{19} + p_4p_{20}k_{20})$$
$$- (p_3k_3 + p_3p_{15}k_{15} + p_3p_{16}k_{16} + p_4k_4 + p_4p_{19}k_{19} + p_4p_{20}k_{20})$$
$$\geq C_k.$$

Daraus ergibt sich:

$$(p_3p_{13}k_{13} + p_3p_{14}k_{14}) - (p_3p_{15}k_{15} + p_3p_{16}k_{16}) \geq C_k. \qquad (26)$$

Es tritt dabei deutlich zutage, dass der Vorteil bedingter gegenüber unbedingten Strategien in der besseren Anpassung an die verschiedenen möglichen Entwicklungen zu suchen ist.

Entgegen den üblichen Annahmen der Literatur können Kontrollinformationen durchaus auch unzuverlässig sein. Als Beispiel lassen sich erneut die Messungen von Werbewirkungen anführen. Eine bedingte Strategie braucht nicht auf sicheren Kenntnissen über die eingetretenen Entwicklungen zu beruhen, sondern sie kann sich durchaus auch auf a posteriori Wahrscheinlichkeitsurteile stützen. Um zu solchen Urteilen zu gelangen, müssen allerdings zur jeweils verwendeten Kontrollmethode die relativen Häufigkeitsdaten bekannt sein, welche die Anwendung des Theorems von Bayes ermöglichen; eine Voraussetzung, die in der Regel nicht leicht zu erfüllen ist (vgl. Kapitel 24.2). Unter der bereits erwähnten Bedingung, dass die offenstehenden Varianten unabhängig von Faktoren sind, welche nicht vom Aktor kontrolliert werden, kann auch der Wert von unzuverlässigen Kontrollinformationen in grundsätzlich gleicher Weise bestimmt werden, wie zuvor geschildert (27).

Schliesslich sei darauf hingewiesen, dass neben Kosten und Zuverlässigkeitsgrad der Kontrollinformationen auch der Zeitpunkt ihrer Verfügbarkeit zu beachten ist. Es darf, um beim Beispiel von Abbildung 9 zu bleiben, nicht ohne

weiteres angenommen werden, dieser liege jedenfalls nicht hinter jenem anderen Zeitpunkt, an dem sich der Aktor endgültig auf Variante 5 oder Variante 6 als zweiten Vorgehensschritt festzulegen hat. Wäre dies dennoch der Fall, dann hätten die Kontrollinformationen für den Aktor keinen Wert mehr (siehe auch Anmerkung 23); es bliebe diesem nur die Planung einer unbedingten Strategie offen. Praktisch dürften die Auswirkungen relativ zeitraubender Kontrollverfahren zumeist nicht derart krass sein, sondern darin bestehen, dass sie dem Aktor gewisse besonders rasche Reaktionen verunmöglichen, während sich die beschafften Informationen für die Wahl zwischen weiteren Verhaltensweisen dennoch als nützlich erweisen. Es könnte sich dann freilich lohnen, eine unbedingte Strategie mit einer hohen "Kadenz" von Massnahmen anstelle einer bedingten mit einer langsamen Anpassung an eingetretene Entwicklungen zu befolgen.

Die Auswirkungen des Zeitpunktes der Verfügbarkeit von Kontrollinformationen zu berücksichtigen bietet keine besonderen Schwierigkeiten, wenn dieser bei der Problemformulierung systematisch der Terminen der allenfalls zu steuernden Teilentscheide gegenübergestellt wird. Ist der Verfügbarkeitszeitpunkt unsicher, dann lassen sich statt eines einzelnen Wertes auch die verschiedenen Möglichkeiten ins Kalkül einbeziehen, was allerdings eine entsprechende Aufblähung der Problemgrösse zur Folge hat.

Informationen, welche erst nach dem Beginn der Verwirklichung einer Entscheidungssequenz eintreffen, können gleichwohl bei der Strategiewahl bereits berücksichtigt werden, falls ihre möglichen Inhalte bekannt sind. Das hat sich sowohl anhand der Kontrollinformationen als auch anhand derjenigen Art von Zusatzinformationen gezeigt, mit der sich die statistische Entscheidungstheorie befasst. Schon in Kapitel 2.2 haben wir indessen auf eine weitere Kategorie von Zusatzinformationen hingewiesen, bei der dies nicht möglich ist, weil sie, wie wir uns dort ausdrückten, "unerwartete Entwicklungen" beinhalten. Solche Informationen seien, da sie für den Aktor echte Neuigkeiten enthalten,

fortan als Innovationsinformationen bezeichnet (28).

Gleich wie die bereits behandelten Zusatzinformationen mit voraussehbaren Inhalten können sich auch Innovationsinformationen entweder auf die schon verwirklichten oder aber auf die noch vorgesehenen Teile einer Strategie beziehen. Das bedeutet im Beispiel von Abbildung 9 etwa: Nach Durchführung der Variante v_2 stellt es sich heraus, dass keine der vorausgesehenen Wirkungen k_3 und k_4, sondern eine andersartige Konsequenz eingetreten ist. Oder aber: es hat sich zwar k_4 eingestellt, aber es zeigt sich nun, dass für den nächsten Vorgehensschritt neben v_5 und v_6 eine weitere Variante besteht. Durch jede dieser Innovationsinformationen kann sich der vom Aktor eingeschlagene Weg als falsch erweisen. Um dieses Risiko zu vermindern, sind verschiedene Vorschläge gemacht und von uns teilweise auch bereits erwähnt worden. Wir erinnern insbesondere an die Möglichkeit, von Zeit zu Zeit die Prämissen der noch verbleibenden Planstufen zu überprüfen, um Abweichungen von den ursprünglichen Annahmen frühzeitig zu erkennen und in einer Um- oder Neuplanung zu berücksichtigen (29). Eine aktive Suche nach Innovationsinformationen anstelle eines blossen Abwartens allenfalls eintreffender, anderslautender Nachrichten kann wirtschaftlich ohne weiteres gerechtfertigt sein, stellt man die dadurch ermöglichte Vermeidung oder Verringerung von Verlusten, beziehungsweise die Ausnützung günstiger Gelegenheiten in Rechnung. Dasselbe lässt sich vom Vorschlag von Hax und Laux sagen, beständig eine gewisse Liquiditätsreserve zu halten. Die beiden Autoren halten liquide Mittel offenbar für die beste, weil am wenigsten spezifische Sicherung gegenüber "Unvorhergesehenem". Sie weisen jedoch selbst darauf hin, dass solche Vorsorgemassnahmen nicht in einen optimalen Gesamtentscheid einbezogen werden können (30).

Die zuletzt erwähnte Bemerkung von Hax und Laux kann verallgemeinert werden für jedweden Versuch, die Möglichkeit von Innovationsinformationen bei einem Sequentialentscheid von vornherein zu berücksichtigen. Auch eine aktive

Suche nach solchen Informationen ist ja, weil sich die möglichen Ergebnisse definitionsgemäss nicht abschätzen lassen, erst im nachhinein als richtig oder falsch zu beurteilen. Im Grunde steht der Aktor dort, wo mit Innovationsinformationen zu rechnen ist, einem unvollständig erfassten Entscheidungsproblem gegenüber. Vor analoge Schwierigkeiten kann er sich auch bei Einzelentscheiden gestellt sehen. Die Theorien zur rationalen Entscheidfindung befassen sich mit dieser besonderen Form der Ungewissheit nicht (31). Vor der Möglichkeit des "erstens kommt es anders, und zweitens als man denkt" dürfte sich wohl auch nie eine bestimmte Verhaltensweise theoretisch als eindeutig richtig begründen lassen. Das trifft jedoch bekanntlich bereits für den Fall der rationalen Indeterminiertheit zu; dennoch halten wir die in jenem Zusammenhange entwickelten Ansätze nicht für nutzlos. Die Entwicklung weiterer Vorschläge zur Behandlung von nicht vollständig überschaubaren, sequentiellen und einstufigen Entscheidproblemen erscheint uns ebenfalls als wünschenswert, da derartige Fälle in der Wirklichkeit häufig sind.

32.6 Entscheidmaximen und Sequentialentscheid

Durchgeht man die bisher bekannten Ansätze zur Entscheidfällung bei sequentiellen Problemen, so fällt auf, dass dabei fast durchwegs eine Strategie gewählt wird, welche den höchsten oder niedrigsten Gesamtkonsequenzenwert garantiert oder erwarten lässt. Es wird demnach von sicheren oder quasisicheren Konsequenzen ausgegangen. Sicherheit kann jedoch bekanntlich bei Entscheidungsproblemen höchstens näherungsweise und nur in verhältnismässig wenigen Fällen gegeben sein. Aber auch mit Quasisicherheit ist bei Sequentialentscheiden nicht oft zu rechnen, denn die Bedingung einer sehr grossen Zahl von Wiederholungen, die schon bei Einzelmassnahmen nicht leicht zu erfüllen ist, bereitet noch wesentlich mehr Mühe, wenn sie sich auf Strategien, das heisst auf Kombinationen von Verhaltensweisen, bezieht. Bedeutend häufiger sind demgegenüber in der Wirklichkeit Fälle stochastischer und spieltheoreti-

scher Unsicherheit, sowie rationaler Indeterminiertheit zu erwarten (32). Bei diesen können grundsätzlich die gleichen Entscheidmaximen angewendet werden, welche für entsprechende Einzelentscheide entwickelt worden sind, denn Konsequenzenketten werden ja vor dem Vergleich auf analytischem oder summarischem Wege zu entsprechenden Gesamtwerten aggregiert. Zu prüfen ist jedoch, ob diese Maximen auch eine Strategiebestimmung nach dem Optimalitätsprinzip zulassen. Gelangt man zur selben Verhaltenssequenz wie bei einem direkten Vergleich aller Gesamtstrategien, wenn man laufend bereits Teilstrategien, welche nach diesen Entscheidregeln als minderwertig zu gelten hätten, von den weiteren Vorgehensschritten ausschliesst?

Die Frage ist, was die Maximierung des erwarteten Nutzens bei stochastischer Unsicherheit betrifft, implizit bereits beantwortet worden: Unseren in Abschnitt 11.3 formulierten Standardannahmen zufolge, wurde bei der Behandlung des Optimalitätsprinzips in den vorangehenden Kapiteln (wo nicht ausdrücklich anders vermerkt) stets dieser Fall unterstellt. Abgesehen davon ist aber ohnehin leicht einzusehen, dass bei einem Vorgehen gemäss Bellman der erwartete Nutzen genauso maximiert wird wie der Erwartungswert der Konsequenzen in den quasisicheren Beispielen der Literatur.

Einige weitere Ueberlegungen lassen erkennen, dass das Optimalitätsprinzip mit allen Entscheidregeln vereinbar ist, welche die Maximierung oder die Minimierung eines beliebig gearteten Gesamtstrategiewertes verlangen. Das trifft jedoch auf die meisten Maximen zu. So erfordert die Minimax-Regel die Ermittlung einer Strategie, welche über sämtliche Perioden des Planungshorizontes unter den widrigsten Umständen das relativ günstigste Gesamtergebnis garantiert. Offenkundig kann das letztere auch dadurch gefunden werden, dass schrittweise immer umfassendere alternative Teilstrategien miteinander verglichen werden und stets nur diejenige weiterverfolgt wird, die über den bisher betrachteten Zeitraum das beste Minimalergebnis aufweist. Entsprechend kann aber auch das "grösstmögliche Bedauern" mini-

miert werden, was Savage und Niehans fordern. Das Optimismus-Pessimismus-Kriterium von Hurwicz verlangt die Maximierung oder Minimierung des gewogenen Mittels aus dem besten und dem schlechtesten Ergebnis; die Laplace-Regel entspricht formal der Bestimmung des günstigsten Erwartungswertes.

Postuliert eine Entscheidregel die Maximierung oder Minimierung eines bestimmten Wertes unter Beachtung einer Nebenbedingung, dann lässt sich das Optimalitätsprinzip auf die Teilmenge der zulässigen Strategien anwenden. Als Beispiel sei nur die bei stochastischer Unsicherheit vorgeschlagene Maxime genannt, nach der der Erwartungswert zu maximieren ist, wobei jedoch der Minimalerfolg bei ungünstigsten Verhältnissen nicht unter eine bestimmte Schwelle fallen darf (33). Hierbei wären zunächst sämtliche möglichen Strategien auf die Einhaltung der Restriktion hin zu untersuchen; das Optimalitätprinzip könnte sodann dazu benützt werden, unter den zulässigen Strategien diejenige mit dem höchsten Erwartungswert zu ermitteln.

Auch in den hier aufgezeigten weiteren Einsatzbereichen des Optimalitätsprinzips gelten, mutatis mutandis, die in den beiden vorangehenden Kapiteln gemachten Aussagen zu dessen Anwendbarkeit und Rationalisierungswirkungen. Das heisst also beispielsweise: Bei der Minimierung des grösstmöglichen Bedauerns ist mit dem Bellmanschen Verfahren nur dann eine methodische Einsparung zu erzielen, wenn die "Funktion des Gesamtbedauerns" trennbar ist; mit einer stückweisen Ermittlung der Minimax-Gesamtstrategie unterstellt der Aktor, dass bei deren Verwirklichung die nötigen Kontrollinformationen verfügbar sein werden.

3.3 Bemerkungen zum gegenwärtigen Stand des Wissens über den Sequentialentscheid

Fasst man die Erkenntnisse zusammen, welche die verschiedenen, im zweiten Teil der Arbeit besprochenen Ansätze zum Sequentialentscheid enthalten, und zieht man zudem die vorangehenden Ueberlegungen zu besonderen Schwierigkeiten bei diesem Entscheidungstyp in Betracht, dann drängen sich insgesamt wohl zwei Hauptfolgerungen auf.

Zunächst eine positive: Die Frage, wie ein Sequentialentscheid getroffen werden müsste, um als voll rational gelten zu können, darf als theoretisch weitgehend gelöst bezeichnet werden. Die grundsätzlichen Erfordernisse lassen sich aus der Theorie des Einzelentscheides ableiten, denn formal besteht kein Unterschied zwischen der Bestimmung der günstigsten Werte zweier oder mehrerer gleichzeitig einzusetzender Entscheidvariablen und der Optimierung einer Verhaltenssequenz. Die materiellen Besonderheiten sequentieller Problemstellungen, die mit dem Zeitfaktor zusammenhängen, können ebenfalls mit dem Grundschema rationalen Entscheidens in Einklang gebracht werden; erinnert sei hier an die Berücksichtigung von Varianten, die ausschliesslich Veränderungen der Kapazität, des Informationsstandes oder der Situation zur Folge haben. Bislang schenken die allgemeinen Entscheidungstheorien diesen Gesichtspunkten allerdings viel zu wenig Beachtung.

Das zweite Hauptergebnis ist ungünstig: Mit der praktischen Lösung sequentieller Probleme ist es sehr viel schlechter bestellt als mit der theoretischen. Der Aufwand, den die strikte Einhaltung aller Rationalitätsbedingungen mit sich brächte, ist schon bei vielen Einzelentscheiden allzu hoch. Bei den meisten Sequentialentscheiden dürfte er rein technisch überhaupt nicht zu bewältigen sein, von der wirtschaftlichen Vertretbarkeit ganz zu schweigen (34). Das liegt vor allem daran, dass sämtliche möglichen Kombinationen aus dem Verhalten von Aktor, Natur und anderen Spielern auf den verschiedenen Stufen berücksichtigt werden müssen. Welchen Umfang die Probleme dadurch anneh-

men können, wurde in Teil 2 der Arbeit mit einigen Zahlenbeispielen angedeutet. Es kann zwar erwartet werden, dass in den nächsten Jahren leistungsfähigere Algorithmen zur rationalen Festlegung von Verhaltenssequenzen entwickelt werden; erhebliche Verbesserungen scheinen uns auch auf dem Gebiete der elektronischen Datenverarbeitung noch möglich. Dennoch ist auf absehbare Zeit hinaus kaum damit zu rechnen, dass durch derartige Fortschritte der Kreis der rational lösbaren, unternehmerischen Sequentialprobleme drastisch erweitert wird. Was rechentechnisch einem wahren Durchbruch gleichkommt, bedeutet für praktische Anwendungen oftmals nur sehr wenig. So mag es den Operations-Research-Fachmann stark beeindrucken, wenn er vernimmt, dass es möglich geworden ist, die Belegung von 3 statt bisher lediglich 2 Maschinen mit 10 Aufträgen zu optimieren; dem für die Produktionsplanung im Betrieb Verantwortlichen dürfte dieselbe Meldung aber wohl nur ein müdes Lächeln entlocken.

Selbst wenn unsere Erwartungen hinsichtlich der weiteren Entwicklung allzu pessimistisch sein sollten: beim gegenwärtigen Stand der Dinge bleibt einem Aktor, der ein sequentielles Entscheidungsproblem zu lösen hat, in nahezu allen Fällen gar nichts anderes übrig, als die Forderungen der vollkommenen Rationalität mehr oder minder gröblich zu missachten. Das heisst im Grunde immer, dass er gezwungen ist, Vereinfachungen gegenüber der eigentlichen Problemstellung vorzunehmen. Vereinzelt wurde bereits in früheren Kapiteln auf entsprechende Möglichkeiten hingewiesen. Wegen seiner grossen praktischen Bedeutung kommen wir kurz in zusammenhängender Form auf dieses Thema zurück.

Vereinfachungen gegenüber einem völlig rationalen Vorgehen sind in jeder Phase des Entscheidungsprozesses möglich. So wird der Aktor oftmals bereits darauf verzichten, alle ihm an sich offenstehenden Strategien zu ermitteln. Er kann dies tun, indem er nach Zusammenstellung einer gewissen Zahl von Verhaltenssequenzen die Suche einstellt oder/und indem er den Suchraum

künstlich einschränkt. Der Suchraum lässt sich beispielsweise dadurch verkleinern, dass man mittels Grobentscheiden ganze Klassen von Strategien von jeder Einzelbetrachtung ausschliesst (35). Die Zahl der möglichen Strategien verringert sich aber auch, wenn man den Planungshorizont weniger weit in die Zukunft hinauslegt, als es den Rationalitätserfordernissen entsprechen würde (36). Dieselbe Wirkung tritt bei einer künstlichen Verlängerung der Entscheidstufen ein: Theoretisch müssten für alle Zeitpunkte, zu denen der Aktor sich verschieden verhalten kann, entsprechende Entscheidungsknoten vorgesehen werden. In Grenzfällen ist es durchaus möglich, dass kontinuierlich entschieden werden könnte. Zieht man demgegenüber Verhaltensentscheide nur in grösseren Zeitabständen überhaupt in Betracht, dann "überspringt" man an sich bestehende Wahlmöglichkeiten. Analoges gilt, wenn der Aktor bloss einen Teil der realisierbaren Werte gewisser Entscheidungsvariablen bei der Strategienbildung berücksichtigt, wenn er etwa kontinuierliche Grössen "diskretisiert". Auch durch die Vorgabe eines Projektziels und eine entsprechende Rückwärtsplanung wird der Strategienraum in einer meist rational nicht gerechtfertigten Weise eingeschränkt. Es handelt sich dabei gleichzeitig um eine der vielen Möglichkeiten, das Problem der Festlegung einer Verhaltenssequenz in leichter lösbare Teilprobleme aufzuspalten (dass dies auch auf rationale Art geschehen kann, zeigt das Optimalitätsprinzip).

Der Aufwand des Entscheidens lässt sich ebenfalls senken, wenn man die Bedingungen der vollkommenen Rationalität bei der Konsequenzenermittlung nicht strikte einhält. Dies kann bedeuten, dass man - ähnlich wie bei der Zusammenstellung der Strategien - lediglich einen Teil aller Möglichkeiten erfasst, so beispielsweise bei Quasisicherheit oder stochastischer Unsicherheit nur die wahrscheinlichste Konsequenz. Der Aktor kann sich auch die Mühe ersparen, die empirische Wahrscheinlichkeitsverteilung zu bestimmen, indem er eine theoretische (zum Beispiel eine Poisson-, Normal- oder Binomial-) Verteilung unterstellt. Vor allem in Interesse der Anwendbarkeit analytischer Verfahren werden ferner häufig Linearität, Stetigkeit und andere Eigenschaften

der Zielfunktion angenommen, die in Tat und Wahrheit nicht gegeben sind. Bei der Bewertung stochastisch unsicherer Konsequenzen geht man oftmals von direkter Proportionalität zwischen Erwartungswert und Nutzen aus, obschon der Aktor sich nicht risikoneutral verhält.

Zahlreiche Autoren weisen auf die Notwendigkeit der Vereinfachung sequentieller Probleme und auf entsprechende Möglichkeiten hin (37). Was jedoch fehlt, sind brauchbare Angaben über die Auswirkungen solcher Massnahmen. Ausgehend von den Parametern seines konkreten Problems sollte es dem Aktor möglich sein, einerseits die zu erwartenden Lösungsverschlechterungen und andererseits die erreichbaren methodischen Einsparungen näherungsweise zu bestimmen und dadurch eine einigermassen gezielte Wahl unter den verschiedenen Vereinfachungsverfahren zu treffen. Wir halten es ausserdem für erforderlich, auch in jenen seltenen Fällen, in denen eigentlich völlig rational entschieden werden könnte, dem dabei erzielbaren Nutzen den entsprechenden methodischen Aufwand gegenüberzustellen und allenfalls dennoch Problemvereinfachungen vorzunehmen. Es kann bei Sequentialentscheiden nicht vorausgesetzt werden, dass das Optimum die zu seiner Bestimmung nötigen Anstrengungen ohne weiteres rechtfertigt.

Eine indirekte Berücksichtigung von Entscheidungsaufwand und erreichbarem Zielbeitrag bezwecken, wie erinnerlich, die Anhänger einer begrenzten Rationalität bei der Festlegung eines bestimmten Anspruchsniveaus. Sie sehen vor, dieses (nach dem Rückkopplungsprinzip) an neue Erfahrungen anzupassen. Das Konzept lässt sich, obwohl in diesem Zusammenhange selten erwähnt, durchaus auch bei Entscheidungssequenzen anwenden. Es kann auch hier einen wesentlich geringeren Aufwand als ein voll rationales Vorgehen zur Folge haben. Analog wie beim Einzelentscheid wird man ja, falls lediglich ein bestimmter Minimalwert erreicht werden soll, jede Strategie sogleich nach ihrer Ermittlung auf ihre Konsequenzen untersuchen, diese bewerten und das Prozedere nur fortsetzen, wenn mit diesem Verhaltensplan die Minimalforderung nicht erfüllt

wird. Wir sehen in der begrenzten Rationalität allerdings letztlich nur eine Uebergangs- und Notlösung, die hinfällig würde, gelänge es, die im vorangehenden Abschnitt gewünschten Möglichkeiten der direkten Abwägung von methodischem Aufwand und zu erwartendem Nutzen zu schaffen.

Anmerkungen zu Teil 3

1 Einen Ueberblick über diese vermittelt beispielsweise Schultheiss:

Schultheiss, R.R.: Versuch einer Systematisierung praktikabler Prognoseverfahren; in: Die Unternehmung, No. 2, 1971; S. 159 ff.

2 Da sich die Theorie mit dem Fall unsicherer Varianten bei Einzelentscheiden nicht befasst, sei hier nebenbei erwähnt, dass auch dieser mit der Methode der Eventualplanung zu lösen ist. Das ist wiederum am Vorgesetzten-Beispiel deutlich zu erkennen. Bei diesem wäre offensichtlich sowohl für den Fall des Erscheinens wie für denjenigen des Nichterscheinens des Mitarbeiters je ein bedingter Entscheid zu treffen; auf Grund der Lage am Montag wäre dann der entsprechende Plan in die Tat umzusetzen.

Zu beachten ist, dass die Eintreffenswahrscheinlichkeiten der Varianten bei Einzelentscheiden keine Rolle spielen. Der erwähnte Vorgesetzte kann ja den "Entscheid der Natur" abwarten und am Montag unter den dann tatsächlich bestehenden Möglichkeiten diejenige verwirklichen, die er für diesen Fall vorgesehen hat. Ein analoges Vorgehen ist nicht möglich, wenn ein Sequentialentscheid zu treffen ist, bei dem Varianten der zweiten oder einer späteren Entscheidstufe unsicher sind. Zwar wird man auch hier vorerst nur bedingte Entscheide fällen und sich erst dann endgültig festlegen, wenn bekannt geworden ist, welche Varianten wirklich verfügbar sind. Zuvor muss man jedoch einen definitiven Entscheid für die erste Stufe treffen, bei dem natürlich die mutmasslichen späteren Entwicklungen mitzuberücksichtigen sind. Dabei kann es von grossem Wert sein, die Wahrscheinlichkeiten zu kennen, mit denen die Varianten späterer Stufen zur Verfügung stehen werden.

3 "In Abhängigkeit von einer unsicheren Variante" bedeutet, dass alle jene Zielbeiträge gemeint sind, die nicht eintreten könnten, wenn die betreffende Variante nicht durchgeführt würde.

Die Aussage bezieht sich somit auch auf die Zielbeiträge all jener Varianten, die, graphentheoretisch ausgedrückt, auf einem jener Pfeilwege des Entscheidungsbaumes liegen, welche von der bewussten Variante ausgehen. Nicht gemeint sind hingegen Konsequenzen, die zwar während desselben Zeitraumes zu erwarten sind, jedoch noch auf früher realisierte Varianten zurückgehen und die vom Nichteintreffen der unsicheren Variante, sowie der davon abhängigen weiteren Entwicklungen nicht beeinflusst würden.

4 Teichmann, H., op.cit. (1971); S. 140.

5 Die allfälligen Folgen seines früheren Verhaltens sollte der Aktor natürlich auch bei einem Einzelentscheid beachten. Er müsste ferner ebenfalls abklären, ob möglicherweise noch zu erwartende Konsequenzen früherer Entscheide durch die zur Wahl stehenden, neuen Varianten dermassen beeinträchtigt würden, dass vernünftigerweise auf deren Durchführung zu verzichten ist. Nicht zu berücksichtigen vermag der Aktor bei Einzelentscheidungen dagegen die mögliche Bedeutung von erst später gefällten Entscheiden für die gerade zu treffende Wahl. Dies aber kann zu einem Fehlentscheid führen.

6 Vgl. etwa:

Gensch, D.H. und Welam, U.P.: An Optimum Budget Allocation Model for Dynamic, Interacting Market Segments; in: Management Science, Oktober 1973; S. 179 ff.

Koyck, L.M.: Distributed Lags and Investment Analysis; Amsterdam 1954.

Sheth, J.N.: Applications of Multivariate Methods in Marketing; in: King, R.L., op.cit. (1968); S. 259 ff.

Yamane, T., op.cit. (1967); S. 752 ff.

7 Boyd, D.W. und Cazalet, E.G.: An Illustrative Example of the Application of Resource Allocation Using Price Iteration for Decentralization (RAPID); Menlo Park 1971; S. 21 f.

8 Wagner, H.M., op.cit. (1969); S. 365 ff.

9 Siehe beispielsweise Kühn, R., op.cit. (1969); S. 8 ff.

10 Fishburn, P.C.: Utility Theory; in: Management Science, Januar 1968; S. 351.

In betriebswirtschaftlichen Zusammenhängen kommen Vorlieben hinsichtlich der Art der aufeinanderfolgenden Konsequenzen offenbar nicht allzu häufig vor. Bekannt ist etwa aus der Werbeforschung, dass ein bestimmter Fernsehfilm von Versuchspersonen sehr unterschiedlich beurteilt wird, je nachdem, welche Sendung sie sich davor angesehen haben. Eine zweite berechtigte Beschwerde desselben Kunden wurmt ferner manchen Kleinunternehmer mehr als die erste, selbst wenn ihre wirtschaftlichen Auswirkungen weniger schwer wiegen.

Zum Werbebeispiel siehe etwa:

Donner, W.: Wettlauf um die vielen - Die Test-Zahlen über die deutschen Fernsehzuschauer verdienen Misstrauen; in: Die Zeit, 18.7.1969; S. 9.

11 Wie weit und auf welche Weise dies zu erreichen ist, kann hier nicht näher erörtert werden. Die Diskussion müsste von den verschiedenen Erscheinungsformen und Gründen von Aenderungen im Wertsystem eines Aktors ausgehen; Vorarbeiten bestehen vor allem hinsichtlich der Anpassung von Anspruchsniveaus in Abhängigkeit von den erzielten Ergebnissen. Vgl. etwa:

Becker, K.O.: Die wirtschaftlichen Entscheidungen des Haushalts; Berlin 1967; S. 17, S. 77 f. und S. 90.

Fishburn, P.C., op.cit. (1964); S. 428.

Hamel, W.: Zur Zielvariation in Entscheidungsprozessen; in: ZfbF 1973; S. 739 ff.

Hansen, F.: Consumer Choice Beavior: An Experimental Approach; in: Journal of Marketing Research, November 1969; S. 426 ff.

Heinen, E.: Das Zielsystem der Unternehmung; Wiesbaden 1966.

Maslow, A.H.: A Dynamic Theory of Human Motivation; in: Psychological Review 1963; S. 370 ff.

Siegel, S. und Fouraker, L.E.: Bargaining and Group Decision Making; New York, Toronto, London 1960; S. 61 f.

Simon, H.A.: A behavioral model of rational choice; Santa Monica 1953.

Simon, H.A., op.cit. (1957).

Spetzler, C., op.cit. (1968 b); S. 296.

Strasser, H.: Zielbildung und Steuerung der Unternehmung; Wiesbaden 1966; S. 51.

12 Vgl. Kapitel 11.3, insbesondere Anmerkung 30.

13 Cyert, R.M., Simon, H.A. und Trow, D.B.: Observation of a Business Decision; in: Cyert, R.M. und Welsch, L.A., op.cit. (1970); S. 84 f.

Gäfgen, G., op.cit. (1963); S. 215.

14 Praktisch wird man natürlich trotz bestehender Abhängigkeiten des öfteren mehrere Einzelentscheide anstelle eines Sequentialentscheides treffen. Dies dann, wenn die aus der Vernachlässigung von Abhängigkeiten zu erwartenden Nachteile leichter wiegen als der zusätzliche methodische Aufwand, den ein Sequentialentscheid verlangen würde.

15 Siehe etwa:

Wagner, H.M., op.cit. (1969); S. 343.

16 Auf diese Möglichkeit weisen etwa hin:

Herniter, J.D. und Magee, J.F.: Customer Behavior as a Markov Process; in: Operations Research 1961; S. 119 f.

Montgomery, D.P. und Urban, G.L.: Management Science in Marketing; Englewood Cliffs 1969; S. 61.

Wentzel, J.S., op.cit. (1966); S. 42.

17 Es handelt somit um die Art von summarischen Gesamtbeurteilungen, die etwa im Falle von Präferenzen hinsichtlich der Form von Konsequenzenflüssen notwendig ist (vgl. Kapitel 32.3). Davon zu unterscheiden sind in diesem Zusammenhange die Fälle vom Typus "Hummer - Steak": Die zweite Konsequenz kann hier zwar auch nur summarisch, das heisst unter gleichzeitiger Berücksichtigung der ersten, jedoch e i n z e l n bewertet werden.

18 Ansonsten vergliche man beim ersten Optimierungsschritt $u(k_3,k_6)$, $u(k_3,k_7)$ und $u(k_8)$ miteinander, was einer unzulässigen Bevorzugung der Teilstrategien v_3,v_6 und v_3,v_7 gleichkäme.

19 Wir verwenden den sonst nicht gebräuchlichen Ausdruck "Variantenknoten" hier deshalb, weil bei teilweiser Untrennbarkeit der Nutzenfunktion und einer Strategiebestimmung nach dem Optimalitätsprinzip nicht mehr jeder Punkt, an dem mehrere Verhaltensmöglichkeiten bestehen, in methodischer Hinsicht auch einen Entscheidungsknotenpunkt darstellt (wie der Vergleich von Variantenbaum und Entscheidungsbaum in Abbildung 8 zeigt).

20 Zum Beispiel von Tuffery und von Wentzel:

Tuffery, A., op.cit. (1969); S. 4.

Wentzel, J.S., op.cit. (1966); S. 37.

21 Siehe dazu auch:

Kaufmann, A., op.cit. (1964); S. 373 f.

22 Vgl.: Frese, E.: Prognose und Anpassung; in: ZfB 1968; S. 31 ff.

23 Die Wendung "überhaupt nicht verfügbar" ist nicht unbedingt in einem absoluten Sinne zu verstehen; es kann sich auch darum handeln, dass die Informationen zu spät eintreffen, um während des Planungshorizontes noch von Nutzen zu sein.

24 Vgl. auch eine entsprechende Bemerkung von George Hadley im Zusammenhang mit der dynamischen Programmierung:

Hadley, G., op.cit. (1969); S. 490.

25 Siehe dazu die Erläuterung des Prinzips in Anmerkung 2 zu Kapitel 23.1.

26 Die Art der Informationswertbestimmung entspricht im Grunde derjenigen der statistischen Entscheidungstheorie. Im Unterschied zu dieser ist der Blick hier jedoch gleichsam "rückwärts" gerichtet. Um es am Beispiel von Abbildung 9 zu veranschaulichen: Mit der Beschaffung von Kontrollinformationen nach der Durchführung von Variante 2 will der Aktor herausfinden, ob er sich nunmehr am Entscheidknoten 6 oder 7 befindet. Die Einholung von Zusatzinformationen im Sinne der statistischen Entscheidungstheorie würde hingegen in derselben Phase der Sequenz dazu dienen, das Wissen über die verschiedenen noch möglichen Entwicklungen an den Knotenpunkten 12 und 13, beziehungsweise 14 und 15 zu verbessern.

Es ist ohne weiteres möglich, dass zum gleichen Sequentialproblem beide Typen von Zusatzinformationen beschaffbar sind. Der Einbau der sich daraus ergebenden, kombinierten Möglichkeiten des Informationsbezugs und -verzichts in dasselbe Entscheidungsmodell wirft keine grundsätzlich neuen Probleme auf und wird deshalb hier nicht besonders behandelt.

27 Siehe dazu auch Satia und Lave, die allerdings nicht auf diese Bedingung eintreten:

Satia, J.K. und Lave, R.E., op.cit. (1973).

28 Wiederum nach Frese, E., op.cit. (1968); S. 40 ff.

29 Diese Ueberprüfung der Prämissen kann sehr aufwendig und kompliziert sein, so etwa, wenn die Möglichkeit besteht, dass bisher geltende Funktionen zwischen Bestimmungsfaktoren und Konsequenzen geändert haben oder dass neue Bestimmungsfaktoren aufgetreten sind.

Derartigen Veränderungen während der Durchführung eines mehrstufigen Entscheides trachten Montgomery und Urban mit einem speziellen "Informationsprüfsystem" ("sensing -" oder "monitoring information system") auf die Spur zu kommen.

Im Zusammenhang mit der Steuerung und Ueberwachung eines chemischen Prozesses, bei dem wechselnde Bestimmungsfaktoren auftreten, beschreibt Rudd ein verwandtes System wesentlich eingehender. Er schlägt vor, ständig eine Stichprobe konstanten Umfanges aus allen in Frage kommenden Faktoren statistisch auf ihren Einfluss zu testen. Das Stichprobensystem wendet er an, um Speicher- und/oder Rechenzeitbedarf auf dem Computer in vernünftigen Grenzen zu halten. Die Zusammensetzung der Stichprobe ändert, weil den untersuchten Faktoren auf Grund ihrer festgestellten momentanen Bedeutung Gewichte zugewiesen werden, welche ihre Aussicht, in die nächste Analyse einbezogen zu werden, verbessern oder verschlechtern.

Montgomery, D.P. und Urban, G.L., op.cit. (1969); S. 339 f.

Rudd, D.F.: Strategy of Data Selection for Adaptive Automation; in: Operations Research 1962; S. 232 ff.

30 Hax, H. und Laux, H., op.cit. (1972 a); S. 332 f.

31 Vgl. auch die Kritik von Koch an deren eingeschränkter Betrachtungsweise:

Koch, H., op.cit. (1970); S. 139.

32 Der praktisch ebenfalls wichtige Fall einer unvollständigen Problemübersicht, auf den im letzten Kapitel hingewiesen wurde, sei hier ausgeklammert, da sich zu ihm noch keine Aussagen bezüglich der anzuwendenden Entscheidmaximen machen lassen.

Nur beiläufig seien ferner die sogenannten "gemischten" Probleme erwähnt (siehe auch Kapitel 11.3). Für zwei- oder mehrstufige Spiele gegen die Natur lässt sich zeigen, dass der Unsicherheitscharakter einer Strategie vom "schwächsten Glied in der Kette" bestimmt wird. Dazu diene wiederum Abbildung 5:

Es sei beispielsweise angenommen, die Varianten 4 und 5 führten mit Sicherheit zur Konsequenz 7, beziehungsweise 10. Sind demgegenüber die Konsequenzen von Variante 1 quasisicher, dann gilt dies auch für den Gesamtwert einer aus den Varianten 1, 4 und 5 zusammengesetzten, zweistufigen Strategie. Dieser beträgt dann offenkundig:

$$p_1 k_1 k_7 + p_2 k_2 k_{10}.$$

Sind dagegen etwa die Konsequenzen 1 und 2 stochastisch unsicher, die Konsequenzen 7 und 8, respektive 9 und 10 jedoch nicht mit Wahrscheinlichkeiten bewertbar, dann muss die genannte Strategie dem Fall rationaler Indeterminiertheit zugerechnet werden. Die Möglichkeit, den Konsequenzen 1 und 2 Eintreffenswahrscheinlichkeiten zuzuordnen, ist hier nutzlos, denn über den Gesamtwert der Strategie lässt sich dadurch nichts Genaueres mehr aussagen.

33 Vgl. Hax, H., op. cit. (1974); S. 68; ferner auch Kochs Theorie der Sekundäranpassung (Kapitel 2.2).

34 Allzu oft wird freilich übersehen, dass die praktische Vorgehensweise des Aktors beim Fällen sowohl von Einzel- als auch von Sequenitalentscheiden den damit verbundenen Aufwand stark beeinflussen kann. Ronald Howard ist einer der wenigen Autoren, welche auch diesem Aspekt ihr Augenmerk schenken. Er nennt unter anderem die folgenden allgemeinen Möglichkeiten, das Entscheidverfahren bei stochastischer Unsicherheit zu rationalisieren:

Nach der Zusammenstellung der verschiedenen Varianten sollten deren Konsequenzen vorerst lediglich ermittelt, jedoch noch nicht nach ihrer Wahrscheinlichkeit beurteilt werden. Als nächstes sei vielmehr eine Dominanzanalyse durchzuführen. Dies hat den Vorteil, dass anschliessend nur noch den Konsequenzen derjenigen Varianten Wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden müssen, welche nicht bereits als eindeutig unteroptimal von allen weiteren Ueberlegungen ausgeschlossen werden konnten. Nach der Wahrscheinlichkeitsbewertung können die verbliebenen Varianten noch nach stochastischen Dominanzen untersucht werden. Nur wenn danach immer noch mehr als eine Variante für die Durchführung in Frage kommt, ist man gezwungen, die Risikopräferenzen des Aktors zu ermitteln.

Vgl.: Howard, R. A.: Decision Analysis: Applied Decision Theory: in: Hertz, D. B. und Melese, J. (Hrsg.): Prodeedings of the Fourth International Conference on Operational Research: New York 1968: S. 55 ff.

Für den Sequentialentscheid im speziellen lassen sich Howards Anregungen mit dem Optimalitätsprinzip verbinden. Das heisst: Die erwähn-

ten Dominanzanalysen bedingen keine direkte Gegenüberstellung aller Gesamtstrategien, sondern sie lassen sich ebenfalls an den jeweils zur Wahl stehenden Teilstrategien durchführen.

Bereits bei der Behandlung der statistischen Entscheidungstheorie ist auf eine weitere Möglichkeit zur Rationalisierung der Entscheidfindung hingewiesen worden: Die Beschaffung von Zusatzinformationen braucht nur in Betracht gezogen zu werden, wenn sie zu Kosten erfolgen kann, die den möglichen Nutzenzuwachs nicht übersteigen. Eine analoge Voruntersuchung ist auch möglich, wenn es dem Aktor freisteht, Kontrollinformationen zu beziehen oder auf sie zu verzichten (siehe Kapitel 32.5).

Ein geschicktes Vorgehen beim Entscheiden dürfte es erlauben, die Erfordernisse vollkommener Rationalität in etlichen Grenzfällen einzuhalten, in denen dies mit einer anderen Methodik entweder technisch unmöglich oder wirtschaftlich nicht zu rechtfertigen wäre. Es ändert mit Bestimmtheit nichts an der Tatsache, dass die weitaus meisten sequentiellen Entscheidungsprobleme nicht völlig rational gelöst werden können. Unumgängliche Problemvereinfachungen können jedoch mit den erwähnten Verfahren oftmals beschränkt werden.

35 Dieses Verfahren ist in jenen Ausnahmefällen rational, in denen der Grobentscheid ein verlässliches Suboptimalitätsurteil über jede einzelne der damit implizit elminierten Strategien darstellt. (Vgl. die Ausführungen zur Grobplanung und zur Methode Branch-and-Bound, Kapitel 2.2 und Kapitel 24.5.)

36 Diese verlangen eine Planung bis zu jener Zeitgrenze, jenseits der unterschiedliche Entwicklungen die Wahl auf der ersten Entscheidstufe nicht mehr zu beeinflussen vermögen.

37 Siehe beispielsweise:

Hax, H. und Laux, H., op.cit. (1972 a); S. 330.

Kaufmann, A., op.cit. (1964); S. 370.

Magee, J.F., op.cit. (1964); S. 128 und S. 135.

McCreary, E.A.: How to Grow a Decision Tree; in: Think Magazine, März-April 1967; S. 13 ff.

Raiffa, H., op.cit. (1968); S. 239 ff.

Schlaifer, R., op.cit. (1959); S. 601.

Wilson, R., op.cit. (1969); S. B-651.

Abernathy, W. J. und Rosenbloom, R. S. : Parallel Strategies in Development Projects; in: Management Science, Juni 1969; S. B-486 ff.

Ackermann, A., Röck, H. und Weber, H. H. : Bemerkungen zu dem Aufsatz "Flexible Planung als Lösung der Entscheidungsprobleme unter Ungewissheit ?" von Dieter Schneider; in: ZfbF 1972; S. 453 ff.

Adam, D. : Die Bedeutung der Restwerte von Investitionsobjekten für die Investitionsplanung in Teilperioden; in: ZfB 1968; S. 391 ff.

Agthe, K. : Das Problem der unsicheren Erwartungen bei unternehmerischen Planungen und Entscheidungen; in: Agthe, K. und Schnaufer, E., op. cit. (1963); S. 83 ff.

Agthe, K. und Schnaufer, E. (Hrsg.): Unternehmensplanung; Baden-Baden 1963.

Albach, H. : Wirtschaftlichkeitsrechnung bei unsicheren Erwartungen; Köln, Opladen 1959.

Ancker, D. J. : Stochastic Duels with limited ammunition supply; in: Operations Research 1964; S. 38 ff.

Ancker, C. J. : The Status of Developments in the Theory of Stochastic Duels - II; in: Operations Research 1967; S. 388 ff.

Ansoff, H. I. und Slevin, D. P. : An Appreciation of Industrial Dynamics; in: Management Science, März 1968; S. 383 ff.

Aron, R. : Paix et guerre entre les nations; Paris 1962.

Balas, E. : A Note on the Branch-and-Bound Principle; in: Operations Research 1968; S. 442 ff.

Bayes, T. : An essay toward solving a problem in the doctrine of chance; in: Philosophical Transactions 1763; S. 376 ff. und S. 401 ff.; sowie Philosophical Transactions 1764; S. 298 ff.

Beaufre, A. : Introduction à la stratégie; Paris 1963.

Beaufre, A. : Dissuasion et stratégie; Paris 1964.

Beaufre, A.: Stratégie de l'action; Paris 1966.

Beaufre, A.: La guerre révolutionnaire; Paris 1972.

Beaufre, A.: Die Neue Strategie; in: Neue Zürcher Zeitung, 2.9.1973; S. 37.

Becker, K.O.: Die wirtschaftlichen Entscheidungen des Haushalts; Berlin 1967.

Beckmann, M.J.: Dynamic Programming of Economic Decisions; Berlin, Heidelberg, New York 1968.

Beer, S.: Decision and Control; New York 1966.

Behnke, H. und Tietz, H. (Hrsg.): Mathematik; Band II; Frankfurt/Main 1966.

Beier, U.: Entscheidungsmethoden bei der Bestimmung eines Konsumprogramms; in: ZfB 1973; S. 197 ff.

Bellman, R.: Dynamic Programming; erste Auflage; Princeton 1957.

Bellman, R.: Dynamic Programming; dritte Auflage; Princeton 1962.

Bellman, R. und Dreyfus, S.: On the computational solution of dynamic programming processes - I: on a tactical air warfare model of Mengel; in: Operations Research 1958; S. 65 ff.

Bellman, R. und Dreyfus, S.: Applied Dynamic Programming; Princeton 1962.

Berge, C.: Théorie des graphes et ses applications; Paris 1963.

Berge, C.: Graphes et hypergraphes; Paris 1970.

Berge, C. und Ghouila-Houri, A.: Programming, Games, and Transportation Networks; New York 1965.

Bhashyam, N. und Singh, N.: Stochastic Duels with Varying Single-Shot Kill Probabilities; in: Operations Research 1967; S. 233 ff.

Bhat, U.N.: Sixty Years of Queuing Theory; in: Management Science, Februar 1969; S. B-280 ff.

Bonder, S. : The Lanchester Attrition-Rate Coefficient; in: Operations Research 1967; S. 221 ff.

Bonder, S. : The Mean Lanchester Attrition Rate; in: Operations Research 1970; S. 179 ff.

Bonini, C. P. : Simulation of Information and Decision Systems in the Firm; Englewood Cliffs 1963.

Borel, E. : La théorie du jeu et les équations intégrales à noyau symétrique; in: C.R. Acad. Sci. 1921; S. 1304 ff.

Boyd, D. F. : Enterprise Models: A New Management Technique; in: Starr, M. K. , op. cit. (1970); S. 360 ff.

Boyd, D. W. und Cazalet, E. G. : An Illustrative Example of the Application of Resource Allocation Using Price Iteration for Decentralization (RAPID); Menlo Park 1971.

Brooks, F. C. : The Stochastic Properties of Large Battle Models; in: Operations Research 1965; S. 1 ff.

Bross, I. D. J. : Prévision et Décisions Rationelles; Paris 1961.

Brown, G. W. : Computation in Decision Making; in: Machol, R. W. , op. cit. (1960); S. 1 ff.

Buffa, E. S. : Modern Production Management; London, etc. 1961.

Busacker, R. G. und Saaty, T. L. : Finite Graphs and Networks; New York 1965.

Charnes, A. und Cooper, W. W. : Chance-Constrained Programming; in: Management Science 1959; S. 73 ff.

Charnes, A. und Cooper, W. W. : Deterministic Equivalents for Optimizing and Satisficing under Chance Constraints; in: Operations Research 1963; S. 18 ff.

Charnes, A. , Cooper, W. W. , Niehaus, R. J. und Stedry, A. : Static and Dynamic Assignment Models with Multiple Objectives, and some remarks on Organization Design; in: Management Science, April 1969; S. B-365 ff.

Churchman, C. W. : Kritik von Braybrooke, D. und Lindblom, C. E. , A Strategy of Decision: Policy Evaluation as a Social Process; New York 1963;

in: Operations Research 1965; S. 159 ff.

Clark, C.E.: Comments on the Preceding Paper; in: Operations Research 1961; S. 348 f.

Clark, C.E.: The PERT Model for the Distribution of an Activity Time; in: Operations Research 1962; S. 405 f.

Clarkson, G.P.E. (Hrsg.): Managerial Economics; Harmondsworth, Baltimore, Ringwood 1968.

Computer Chess Programs; in: Proceedings of the 1971 Annual Conference, Association for Computing Machinery; o.O.; S. 97 ff.

Conway, R.W. und Maxwell, W.L.: Network Dispatching by the Shortest-Operation Discipline; in: Operations Research 1962; S. 51 ff.

Conway, R.W., Maxwell, W.L. und Miller, L.W.: Theory of Scheduling; Reading 1967.

Cosinuke, W.: The Critical Path Method; in: Stilian, G.N., et al., op.cit. (1962); S. 147 ff.

Cox, D.F.: Clues for Advertising Strategists; in: Harvard Business Review, September-Oktober 1961; S. 160 ff.; sowie Harvard Business Review, November-Dezember 1961; S. 150 ff.

Cox, R., Alderson, W. und Shapiro, S.J. (Hrsg.): Theory in Marketing; Homewood 1964.

Crowston, W. und Thompson, G.L.: Decision CPM: A Method for Simultaneous Planning, Scheduling, and Control of Projects; in: Operations Research 1967; S. 407 ff.

Cyert, R.M., Simon, H.A. und Trow, D.B.: Observation of a Business Decision; in: Cyert, R.M. und Welsch, L.A., op.cit. (1970); S. 67 ff.

Cyert, R.M. und Welsch, L.A. (Hrsg.): Management Decision Making; Harmondsworth, Baltimore, Ringwood 1970.

Danskin, J.M.: A Helicopter versus Submarine Search Game; in: Operations Research 1968; S. 509 ff.

Davis, R.L.: Introduction to "Decision Processes"; in: Thrall, R.M., Coombs, C.H. und Davis, R.L., op.cit. (1957); S. 1 ff.

Dean, B.V. und Marks, E.S. : Optimal Design of Optimization Experiments; in: Operations Research 1965; S. 647 ff.

Dean, J. : Pricing Policies for New Products; in: Harvard Business Review, November-Dezember 1950; S. 28 ff.

Dellmann, K. : Ein heuristisches Modell zur gewinnmaximalen Seriengrössen- und Seriensequenzplanung; in: ZfB 1974; S. 139 ff.

Derman, C. : On Sequential Decisions and Markov Chains; in: Management Science 1962, No. 1; S. 16 ff.

Derman, C. und Klein, M. : Some Remarks on Finite Horizon Markovian Decision Models; in: Operations Research 1965; S. 272 ff.

Dinkelbach, W. : Sensitivitätsanalysen und parametrische Programmierung; Berlin, Heidelberg, New York 1969.

Dobbie, J.M. : A Survey of Search Theory; in: Operations Research 1968; S. 525 ff.

Dörfler, W. und Mühlbacher, J. : Graphentheorie für Informatiker; Berlin 1973.

Dolansky, L. : Present State of the Lanchester Theory of Combat; in: Operations Research 1964; S. 344 ff.

Donner, W. : Wettlauf um die vielen - Die Test-Zahlen über die deutschen Fernsehzuschauer verdienen Misstrauen; in: Die Zeit, 18.7.1969; S. 9.

Dresher, M. : Strategische Spiele; Theorie und Praxis; Zürich 1966.

Drever, J. und Fröhlich, W.D. : Wörterbuch zur Psychologie; München 1968.

Dreyfus, S.E. : An Appraisal of some Shortest-Path Algorithms; in: Operations Research 1969; S. 395 ff.

Edwards, W. : The Theory of Decision Making; in: Edwards, W. und Tversky, A., op.cit. (1967); S. 13 ff.

Edwards, W. : Behavioral Decision Theory; in: Edwards W. und Tversky, A., op.cit. (1967); S. 65 ff.

Edwards, W. und Tversky, A. (Hrsg.): Decision Making; Harmondsworth,

Baltimore, Ringwood 1967.

Elmaghraby, S.E.: Some Network Models in Management Science; Berlin, Heidelberg, New York 1970 a.

Elmaghraby, S.E.: The Theory of Networks and Management Science; Teil I; in: Management Science, September 1970 b; S. 1 ff.

Elmaghraby, S.E.: The Theory of Networks and Management Science; Teil II; in: Management Science, Oktober 1970 c; S. B-54 ff.

Elmaghraby, S.E.: Computers in Production Systems; in: Starr, M.K., op.cit. (1970 d); S. 322 ff.

Eisner, H.: A Generalized Network Approach to the Planning and Scheduling of a Research Project; in: Operations Research 1962; S. 115 ff.

Elsner, K.: Mehrstufige Produktionstheorie und dynamisches Programmieren; Meisenheim/Glan 1964.

Escher, G.: Das Maschinenbelegungs-Problem; in: Weinberg, F. und Zehnder, C.A., op.cit. (1969); S. 39 ff.

Etschmaier, M.: Discretionary Priority Processes; Techn. Memo. No. 60, Operations Research Group, Case Institute of Technology, 1966.

Euwe, M.: Schach von A bis Z; Berlin 1966.

Feichtinger, G.: Zur Bayes-Analyse statistischer Entscheidungsprobleme; in: ZfB 1972; S. 449 ff.

Feigenbaum, E.A. und Feldman, J. (Hrsg.): Computers and Thought; New York 1963.

Fishburn, P.C.: Decision and Value Theory; New York, London, Sidney 1964.

Fishburn, P.C.: Utility Theory; in: Management Science, Januar 1968; S. 335 ff.

Forrest, J.J.H., Hirst, J.P.H. und Tomlin, J.A.: Practical Solution of Large Mixed Integer Programming Problems with Umpire; in: Management Science, Januar 1974; S. 736 ff.

Forrester, J.W.: Industrial Dynamics; New York 1961.

Forrester, J.W. : Industrial Dynamics - After the First Decade; in: Management Science, März 1968; S. 398 ff.

Forrester, J.W. : Industrial Dynamics - A Response to Ansoff and Slevin; in: Management Science, Mai 1968; S. 601 ff.

Forrester, J.W. : Principles of Systems; Cambridge 1968.

Francis, H.J. : Practical Advice for the Use of PERT; in: Stilian, G.N. et al., op.cit. (1962); S. 125 ff.

Frese, E. : Prognose und Anpassung; in: ZfB 1968; S. 31 ff.

Gäfgen, G. : Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung; Tübingen 1963.

Gavett, J.W. : Planning Models; in: Starr, M.K., op.cit. (1970); S. 211 ff.

Gellert, W., Küstner, H., Hellwich, M. und Kästner, H. (Hrsg.): Grosses Handbuch der Mathematik; Köln 1967.

Gensch, D.H. und Welam, U.P. : An Optimum Budget Allocation Model for Dynamic, Interacting Market Segments; in: Management Science, Oktober 1973; S. 179 ff.

Geoffrion, A.M. und Marsten, R.E. : Integer Programming Algorithms: A Framework and State-of-the-Art Survey; in: Management Science 1972; S. 465 ff.

Gerson, M.L. und Maffei, R.B. : Technical Characteristics of Distribution Simulators; in: Management Science, Oktober 1963; S. 62 ff.

Giglio, R.J. und Wagner, H.M. : Approximate Solutions to the three-machine Scheduling Problem; in: Operations Research 1964; S. 305 ff.

Goetz, B.E. : Synthesis of Several Techniques; in: Management Science, Juni 1969; S. B-506 ff.

Grawes, R.L. und Wolfe, P. (Hrsg.): Recent Advances in Mathematical Programming; 1963.

Grigoriadis, M.D. und Walker, W.F. : A Treatment of Transportation Problems by Primal Partition Programming; in: Management Science, Mai 1968; S. 565 ff.

Gupta, S.K. und Rosenhead, J. : Robustness in Sequential Investment Deci-

sions; in: Management Science, Oktober 1968; S. B-18 ff.

Gutenberg, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre; erster Band: Die Produktion; Berlin, Göttingen, Heidelberg 1960.

Hadley, G.: Nichtlineare und dynamische Programmierung; Würzburg, Wien 1969.

Hamel, W.: Zur Zielvariation in Entscheidungsprozessen; in: ZfbF 1973; S. 739 ff.

Hansen, F.: Consumer Choice Behavior: An Experimental Approach; in: Journal of Marketing Research, November 1969; S. 436 ff.

Harbordt, S.: Computersimulation den Sozialwissenschaften; Reinbek 1974.

Hart, A.G.: Anticipations, Uncertainty, and Dynamic Planning; Chicago 1940.

Hartung, L.P.: A Dynamic Project Control Method; in: Stilian, G.N. et al., op.cit. (1962); S. 97 ff.

Hax, H.: Entscheidungsmodelle in der Unternehmung - Einführung in Operations Research; Reinbek 1974.

Hax, H. und Laux, H.: Flexible Planung - Verfahrensregeln und Entscheidungsmodelle für die Planung bei Ungewissheit; in: ZfbF 1972 a; S. 318 ff.

Hax, H. und Laux, H.: Zur Diskussion um die flexible Planung; in: ZfbF 1972 b; S. 477 ff.

Hayes, R.H.: Qualitative Insights from Quantitative Methods; in: Harvard Business Review, Juli-August 1969; S. 108 ff.

Heinen, E.: Das Zielsystem der Unternehmung; Wiesbaden 1966.

Henn, R. (Hrsg.): Operations Research Verfahren, Band V; Meisenheim/Glan 1968.

Henn, R. und Künzi, H.P.: Einführung in die Unternehmensforschung, Band II; Berlin, Heidelberg, New York 1968.

Herniter, J.D. und Magee, J.F.: Customer Behavior as a Markov Process; in: Operations Research 1961; S. 105 ff.

Herrmann, R. : Wie verpönt ist die Schminke noch ? In: Die Zeit, 17.2.1967; S. 48.

Hertz, D.B. und Melese, J. (Hrsg.): Proceedings of the Fourth International Conference on Operational Research; New York 1968.

Hespos, R. und Strassman, P. : Stochastic Decision Trees for the Analysis of Investment Decisions; in: Management Science, August 1965; S. B-244 ff.

Hildenbrand, W. : Anwendung der Graphentheorie auf Planungsprobleme; in: Henn, R., op.cit. (1968); S. 205 ff.

Hilke, W. : Investitionsentscheidungen unter Unsicherheit und klassische Methoden der Investitionsrechnung; in: Information, November 1969; S. 22 ff.

Hitchcock, F.L. : Distribution of a Product from Several Sources to Numerous Localities; in: Journal of Mathematics and Physics 1941; S. 224 ff.

Hochstädter, D. : Stochastische Lagerhaltungsmodelle; Berlin, Heidelberg, New York 1969.

Holt, C.C., Modigliani, F. und Simon, H.A. : A linear decision rule for production and employment scheduling; in: Management Science, No. 1, 1955; S. 1 ff.

Howard, R.A. : The Used Car Buyer; Menlo Park; o.D.

Howard, R.A. : Dynamische Programmierung und Markov-Prozesse; Zürich 1965.

Howard, R.A. : Dynamic Programming; in: Clarkson, G.P.E., op.cit. (1968 a); S. 372 ff.

Howard, R.A. : Decision Analysis: Applied Decision Theory; in: Hertz, D.B. und Melese, J., op.cit. (1968 b); S. 55 ff.

Hu, T.C. : A Decomposition Algorithm for Shortest Paths in a Network; in: Operations Research 1968; S. 91 ff.

Ignall, E. und Schrage, L. : Application of the Branch-and-Bound-Technique to Some Flow-Shop Scheduling Problems; in: Operations Research 1965; S. 400 ff.

Isaacs, R. : Differential Games; New York 1965.

Jacob, H. : Unsicherheit und Flexibilität. Zur Theorie der Planung bei Unsicherheit; in: ZfB 1974; S. 299 ff. , 403 ff. und 505 ff.

Jewell, W.S. : Markov-Renewal Programming. I: Formulation, Finite Return Models; in: Operations Research 1963; S. 938 ff.

Jewell, W.S. : Markov-Renewal Programming. II: Infinite Retun Models, Example; in: Operations Research 1963; S. 949 ff.

Johannsen, U. und Flämig, J. : Die Bedeutung der Erkenntnisse der "Lernpsychologie" für Werbung und Marktforschung; in: GfM-Mitteilungen 1964; S. 110 ff.

Jones, F.M. : Retail Management; Homewood 1967.

Kahn, H. : On Thermonuclear War; Princeton 1960.

Kahn, H. : Thinking about the Unthinkable; New York 1962.

Kahn, H. : Eskalation - Die Politik mit der Vernichtungsspirale; Frankfurt, Berlin, Wien 1970.

Kall, P. : Der gegenwärtige Stand der stochastischen Programmierung; in: Unternehmensforschung 1968; S. 81 ff.

Kaufmann, A. : Méthodes et Modèles de la Recherche Opérationelle; Band II; Paris 1964.

Kaufmann, A. : Entscheidungstechnik im Management; München 1968.

Kaufmann, A. und Cruon, R. : La programmation dynamique; Paris 1965.

Kemeny, J.C. und Snell, J.L. : Finite Markov Chains; New York 1960.

Kilbridge, M.D. und Wester, L. : A Review of Analytical Systems of Line Balancing; in: Operations Research 1962; S. 626 ff.

King, R.L. (Hrsg.): Marketing and the New Science of Planning; Chicago 1968.

Kingston-McCloughry, E.J. : Global Strategy; London 1957.

Klaus, G. (Hrsg.): Wörterbuch der Kybernetik; Frankfurt/Main, Hamburg 1969.

Klein, M.: Markovian Decision Models for Reject Allowance Problems; in: Management Science 1966; S. 349 ff.

Klingman, D., Napier, A. und Stutz, J.: Netgen: A Program for Generating Large Scale Capacitated Assignment, Transportation, and Minimum Cost Flow Network Problems; in: Management Science, Januar 1974; S. 814 ff.

Koch, H.: Zur Diskussion in der Ungewissheitstheorie; in: ZfbF 1960; S. 49 ff.

Koch, H.: Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsrechnung, Probleme der betriebswirtschaftlichen Entscheidungslehre; Wiesbaden 1970.

Koch, H.: Zur Diskussion über die Theorie der Sekundäranpassung. Die Problematik der Risikonutzentheorie; in: ZfbF 1973; S. 773 ff.

König, D.: Theorie der endlichen und unendlichen Graphen; Leipzig 1936.

Koopman, B.O.: A Study of the Logical Basis of Combat Simulation; in: Operations Research 1970; S. 855 ff.

Korp, D.: Werte unterm Blech - Peugeot 504: Das introvertierte Auto; in: Die Zeit, 22.11.1968; S. 57.

Kosiol, E.: Die Unternehmung als wirtschaftliches Aktionszentrum; Reinbek 1966.

Kotler, P.: Competitive Strategies for New Product Marketing over the Life Cycle; in: Management Science, Dezember 1965; S. B-104 ff.

Kotler, P.: Marketing Management: Analysis, Planning, and Control; Englewood Cliffs 1967.

Koyck, L.M.: Distributed Lags and Investment Analysis; Amsterdam 1954.

Krelle, W.: Präferenz- und Entscheidungstheorie; Tübingen 1968.

Kuehn, A.A. und Hamburger, M.J.: A Heuristic Program for Locating Warehouses; in: Cyert, R.M. und Welsch, L.A., op.cit. (1970); S. 228 ff.

Kühn, R.: Möglichkeiten rationaler Entscheidung im Absatzsektor unter besonderer Berücksichtigung der Unsicherheit der Information; Bern, Stuttgart 1969.

Lanchester, F.W.: Aircraft in Warfare: the Dawn of the Fourth Arm; London 1916.

Latterner, C.G., Dresdner, D.M., Spiech, J.A. und Uslan, G.M.: Programmierte Einführung in PERT; München 1966.

Laue, H.J.: Efficient Methods for the Allocation of Resources in Project Networks; in: Unternehmensforschung 1968; S. 133 ff.

Lawler, E. und Wood, D.: Branch and Bound methods: a survey; in: Operations Research 1966; S. 699 ff.

Lee, A.M.: Decision Rules for Media Scheduling: Dynamic Campaigns; in: Operations Research Quarterly, Dezember 1963; S. 365 ff.

Lee, E.S. und Shaikh, M.A.: Optimal Production Planning by a Gradient Technique I. First Variation; in: Management Science, September 1969; S. 109 ff.

Lee, W.B. und Khumawala, B.M.: Simulation Testing of Aggregate Production Planning Models in an Implementation Methodology; in: Management Science, Februar 1974; S. 903 ff.

Levitt, T.: Exploit the product life cycle; in: Harvard Business Review, November-Dezember 1965; S. 81 ff.

Lipsey, R.G. und Steiner, P.O.: Economics; New York, etc. 1970.

Little, J.D.C. und Lodish, L.M.: A Media Planning Calculus; in: Operations Research 1969; S. 1 ff.

Lockley, L.C.: An Approach to Marketing Theory; in: Cox, R. et al., op.cit. (1964); S. 37 ff.

Löffelholz, J.: Repetitorium der Betriebswirtschaftslehre; Wiesbaden 1969.

Luce, R.D. und Raiffa, H.: Games and Decisions; New York 1957.

Lüder, K.: Zur Anwendung neuerer Algorithmen der ganzzahligen linearen Programmierung; in: ZfB 1969; S. 405 ff.

MacCrimmon, K.R. und Ryavec, C.A.: An Analytical Study of the PERT Assumptions; in: Operations Research 1964; S. 16 ff.

Machol, R.E. (Hrsg.): Information and Decision Processes; New York, Toronto, London 1960.

Madansky, A.: Linear Programming under Uncertainty; in: Grawes, R.L. und Wolfe, P., op.cit. (1963); S. 103 ff.

Mag, W.: Sequentielle Informationsbeschaffung für unternehmerische Entscheidungen; in: ZfB 1973; S. 829 ff.

Magee, J.F.: Production Planning and Iventory Control; New York, Toronto, London 1958.

Magee, J.F.: Decision Trees for Decision Making; in: Harvard Business Review, Juli-August 1964; S. 126 ff.

Manne, A.S.: Linear Programming and Sequential Decisions; in: Management Science, No. 3, 1960; S. 259 ff.

Marschak, T. und Nelson, R.: Flexibility, Uncertainty, and Economic Theory; in: Metroeconomica 1962; S. 42 ff.

Maslow, A.H.: A Dynamic Theory of Human Motivation; in: Psychological Review, März 1963; S. 370 ff.

Mastor, A.A.: An Experimental Investigation and Comparative Evaluation of Production Line Balancing Techniques; in: Management Science, Juli 1970; S. 728 ff.

McCall, J.J.: Maintenance Policies for stochastically failing equipment: A Survey; in: Management Science 1965; S. 493 ff.

McCreary, E.A.: How to Grow a Decision Tree; in: Think Magazine, März-April 1967; S. 13 ff.

Mc-Donald, J.: Strategy in Poker, Business, and War; New York 1950.

McNamara, R.: Die Sicherheit im Atomzeitalter; in: Neue Zürcher Zeitung, 29.9.1967.

Meier, R.C., Newell, W.T. und Pazer, H.L.: Simulation in Business and Economics; Englewood Cliffs 1969.

Mellwig, W.: Flexibilität als Aspekt unternehmerischen Handelns; in: ZfbF 1972; S. 724 ff.

Mellwig, W.: Gewinnsicherung und Auswahlkriterium bei Unsicherheit; in: ZfbF 1973; S. 792 ff.

Menges, G. : Grundmodelle wirtschaftlicher Entscheidungen; Köln, Opladen 1969.

Mensch, G. : Ein Progressions-Graphen-Modell für das Botenproblem; in: ZfB 1969; S. 39 ff.

Mertens, P. : Die gegenwärtige Situation der betriebswirtschaftlichen Instandhaltungstheorie; in: ZfB 1968; S. 805 ff.

Miller, D.W. und Starr, M.K. : Executive Decisions and Operations Research; erste Auflage: Englewood Cliffs 1960; zweite Auflage: Englewood Cliffs 1969.

Miller, R.W. : Schedule, Cost, and Profit Control with PERT; New York, Toronto, London 1963.

Mills, G. : A Decomposition Algorithm for the Shortest-Route Problem; in: Operations Research 1966; S. 279 ff.

Miser, H.J. : Operations Research in Perspective; in: Operations Research 1963; S. 669 ff.

Mitten, L.G. : Branch-and-Bound Methods: General Formulation and Properties; in: Operations Research 1970; S. 24 ff.

Mittman, B. : Can a Computer Beat Bobby Fischer ? In: Datamation, Juni 1973; S. 84 ff.

Montgomery, D.P. und Urban, G.L. : Management Science in Marketing; Englewood Cliffs 1969.

Mood, A.M. : Diversification of Operations Research; in: Operations Research 1965; S. 169 ff.

Moore, C.G. : The Heuristic Programming of Marketing Decisions; in: King, R.L., op.cit. (1968); S. 41 ff.

Morgenstern, O. : Strategie - heute; Frankfurt/Main 1962.

Morgenstern, O. (Hrsg.): Spieltheorie und Wirtschaftswissenschaft; Wien, München 1963.

Morgenstern, O. : Die Theorie der Spiele und des wirtschaftlichen Verhaltens; in: Morgenstern, O., op.cit. (1963); S. 71 ff.

Morgenstern, O.: Abraham Wald, 1902 - 1950; in: Morgenstern, O., op.cit. (1963); S. 183 ff.

Müller, W.: Zur neueren Entwicklung der Betriebswirtschaftslehre; in: Schweiz. Zeitschrift für Volkswirtschaft und Statistik 1964; S. 442 ff.

Müller, W.: Grundzüge einer Lehre von der Unternehmungspolitik; in: Die Unternehmung, No. 1, 1967; S. 3 ff.

Nerlove, M. und Arrow, K.J.: Optimal Advertising Policy Under Dynamic Conditions; in: Economica, Mai 1962; S. 129 ff.

v. Neumann, J.: Zur Theorie der Gesellschaftsspiele; in: Mathemat. Annalen 1928; S. 295 ff.

v. Neumann, J. und Morgenstern, O.: Theory of Games and Economic Behaviour; Princeton 1944.

N.N.: Sequenztestgerät für attributive Qualitätskontrolle; VDO Druckschrift S. 490.1; März 1971.

Nordsieck, F.: Betriebsorganisation; Stuttgart 1961.

North, D.W.: A Tutorial Introduction to Decision Theory; in: IEEE Transactions, September 1968; S. 200 ff.

Oberparleiter, K.: Funktionen und Risiken des Warenhandels; o.O., 1930.

Orrbeck, M.G., Schuette, D.R. und Thompson, H.E.: The Effect of Worker Productivity on Production Smoothing; in: Management Science, Februar 1968; S. B-332 ff.

Palda, K.S.: The Hypothesis of a Hierarchy of Effects: A Partial Evaluation; in: Journal of Marketing Research, Februar 1966; S. 13 ff.

Pegels, C.C.: On Startup or Learning Curves: An Expanded View; in: Starr, M.K., op.cit. (1970); S. 183 ff.

Pfluger, P.: Diskussion der Modellwahl am Beispiel des Travelling-Salesman Problems; in: Weinberg, F., op.cit. (1968); S. 88 ff.

Pierce, J.F.: Application of Combinatorial Programming to a Class of All-Zero-One Integer Programming Problems; in: Management Science, November 1968; S. 191 ff.

Pollack, M. : The k-th best route through a network; in: Operations Research 1961; S. 578 ff.

Popp, W. : Einführung in die Theorie der Lagerhaltung; Berlin, Heidelberg, New York 1968.

Raiffa, H. : Decision Analysis - Introductory Lectures on Choices under Uncertainty; Reading, etc. 1968.

Rappaport, A. : Sensitivity Analysis in Decision Making; in: Cyert, R. M. und Welsch, L. A., op. cit. (1970); S. 317 ff.

Rössler, M. : Das Stundenplanproblem; in: Weinberg, F. und Zehnder, C. A., op. cit. (1969); S. 23 ff.

Rothkopf, M. : The Travelling Salesman Problem: On the Reduction of certain large problems to smaller ones; in: Operations Research 1966; S. 532 f.

Rudd, D. F. : Strategy of Data Selection for Adaptive Automation; in: Operations Research 1962; S. 232 ff.

Runggaldier, W. : Verallgemeinerung auf gemischt-ganzzahlige Programmierung; in: Weinberg, F., op. cit. (1968); S. 107 ff.

Saigal, R. : A Constrained Shortest Route Problem; in: Operations Research 1968; S. 205 ff.

Saksena, J. P. und Kumar, S. : The Routing Problem with 'K' Specified Nodes; in: Operations Research 1968; S. 909 ff.

Sasieni, M., Yaspan, A. und Friedman, L. : Methoden und Probleme der Unternehmensforschung; Würzburg 1968.

Satia, J. K. und Lave, R. E. : Markovian Decision Processes with Probabilistic Observation of States; in: Management Science, September 1973; S. 1 ff.

Schaffer, M. B. : Lanchester Models of Guerilla Engagements; in: Operations Research 1968; S. 457 ff.

Schelling, T. C. : Dispersal, Deterrence, and Damage; in: Operations Research 1961; S. 363 ff.

Schelling, T. C. : The Strategy of Conflict; New York 1963.

Schlaifer, R. : Probability and Statistics for Business Decisions; New York, Toronto, London 1959.

Schmidt, R.-B. und Berthel, J. : Unternehmungsinvestitionen; Reinbek 1970.

Schneeweiss, H. : Die angebliche Ausschaltung des Risikos durch das Gesetz der grossen Zahlen; in: Unternehmensforschung 1968; S. 96 ff.

Schneider, D. : Lernkurven und ihre Bedeutung für die Produktionsplanung und Kostentheorie; in: ZfbF 1965; S. 501 ff.

Schneider, D. : Flexible Planung als Lösung der Entscheidungsprobleme unter Ungewissheit ? In: ZfbF 1971; S. 831 ff.

Schneider, D. : "Flexible Planung als Lösung der Entscheidungsprobleme unter Ungewissheit ?" in der Diskussion; in: ZfbF 1972 a: S. 456 ff.

Schneider, D. : Anpassungsfähigkeit und Entscheidungsregel unter Ungewissheit; in: ZfbF 1972 b; S. 745 ff.

Schneider, D. : "Anpassungsfähigkeit und Entscheidungsregel unter Ungewissheit" in der Diskussion; in: ZfbF 1973; S. 805 ff.

Schultheiss, R.R. : Versuch einer Systematisierung praktikabler Prognoseverfahren; in: Die Unternehmung, No. 2, 1971; S. 159 ff.

Sengupta, J.K., Tintner, G. und Millham, C. : On Some Theorems of Stochastic Linear Programming with Applications; in: Management Science, Oktober 1963; S. 143 ff.

Shackle, G.L.S. : Expectations in Economics; Cambridge 1949.

Shannon, C. : Programming a Digital Computer for Playing Chess; in: Philosophical Magazine 1950; S. 256 ff.

Sheth, J.N. : Applications of Multivariate Methods in Marketing; in: King, R.L., op.cit. (1968); S. 259 ff.

Shorack, G.R. : Algorithms and Analog Computers for the Most Reliable Route through a Network; in: Operations Research 1964; S. 632 ff.

Shubik, M. (Hrsg.): Spieltheorie und Sozialwissenschaften; Frankfurt/ Main 1965.

Shubik, M. : Spieltheorie und die Untersuchung des sozialen Verhaltens:

Eine einführende Darstellung; in: Shubik, M., op. cit. (1965); S. 13 ff.

Sicard, P.: Pratique du PERT; Paris 1967.

Siegel, S. und Fouraker, L.E.: Bargaining and Group Decision Making; New York, Toronto, London 1960.

Simon, H.A.: Administrative Behaviour; New York 1947.

Simon, H.A.: A behavioral model of rational choice; Santa Monica 1953.

Simon, H.A.: Models of Man; New York, London 1957.

Simon, H.A.: The New Science of Management Decision; New York 1960.

Simon, H.A.: The Shape of Automation for Men and Management; New York, Evanstown, London 1965.

Simon, H.A. und Newell, A.: Heuristic Problem-Solving: The Next Advance in Operations Research; in: Operations Research 1958; S. 1 ff.

Sizer, J.: An Insight into Management Accounting; Harmondsworth, Baltimore, Ringwood 1970.

Sokolowski, W.D. (Hrsg.): Militär-Strategie; Köln 1965.

Spetzler, C.: Establishing a Corporate Risk Policy; in: 1968 (a) Proceedings of AIIE; S. 103 ff.

Spetzler, C.: The Development of a Corporate Risk Policy for Capital Investment Decisions; in: IEEE Transactions, September 1968 (b); S. 279 ff.

Springer, C.H., Herlihy, R.E., Mall, R.T. und Beggs, R.I.: Probabilistic Models; Homewood 1968.

Starr, M.K.: Planning Models; in: Management Science 1966; S. B-115 ff.

Starr, M.K. (Hrsg.): Management of Production; Harmondsworth, Baltimore, Ringwood 1970.

Stilian, G.N. et al.: PERT - A New Management Planning and Control Technique; New York 1962.

Strasser, H.: Zielbildung und Steuerung der Unternehmung; Wiesbaden 1966.

Takacs, L.: Stochastische Prozesse; München, Wien 1966.

Taubert, W. H. : A Search Decision Rule for the Aggregate Scheduling Problem; in: Management Science, Februar 1968; S. B-343 ff.

Taylor, D. W. : Decision Making and Problem Solving; in: Cyert, R. M. und Welsch, L. A. , op. cit. (1970); S. 30 ff.

Teichmann, H. : Der Stand der Entscheidungstheorie; in: Die Unternehmung, No. 2, 1971; S. 127 ff.

Thrall, R. M. , Coombs, C. H. und Davis, R. L. (Hrsg.): Decision Processes; New York, London 1957.

Thumb, N. : Grundlagen und Praxis der Netzplantechnik; München 1968.

Tonge, F. M. : Summary of a Heuristic Line Balancing Problem; in: Cyert, R. M. und Welsch, L. A. , op. cit. (1970); S. 201 ff.

Tuffery, A. : Recherche du meilleur plan d'investissement - Méthode de l'arbre de décision; in: Hommes et techniques, November 1969; S. 1 ff.

UNIVAC: Planung mit PERT und CPM - Netzplantechnik; Zürich o. J.

Urban, G. L. : Sprinter Mod III: A Model for the Analysis of new frequently purchased consumer products; in: Operations Research 1970; S. 805 ff.

Van Slyke, R. M. : Monte Carlo Methods and the PERT Problem; in: Operations Research 1963; S. 839 ff.

Wagner, H. M. : Principles of Operations Research with Applications to Managerial Decisions; Englewood Cliffs 1969.

Wald, A. : Sequential Analysis; New York, London 1947.

Wald, A. : Statistical Decision Functions; New York 1950.

Walsh, J. E. : International Operations Research Activities; in: Operations Research 1968; S. 709 ff.

Wasson, C. R. : How Predictable Are Fashion and Other Product Life Cycles ? In: Journal of Marketing, Juli 1968; S. 36 ff.

Weber, K. : Projektanalyse unter Verwendung des Theorems von Bayes; in: Industrielle Organisation, No. 7, 1967; S. 293 ff.

Weinberg, F. (Hrsg.): Einführung in die Methode Branch and Bound; Berlin,

Heidelberg, New York 1968.

Weinberg, F. und Zehnder, C.A. (Hrsg.): Heuristische Planungsmethoden; Berlin, Heidelberg, New York 1969.

Weiss, H.K.: Combat Models and Historical Data: The US Civil War; in: Operations Research 1966; S. 759 ff.

Welsh, D.J.A.: Super-Critical Arcs of a PERT Network; in: Operations Research 1966; S. 173 ff.

Wentzel, J.S.: Elemente der dynamischen Programmierung; München, Wien 1966.

Wiest, J.D.: A Heuristic Model for Scheduling Large Projects with Limited Resources; in: Management Science, Februar 1967; S. B-359 ff.

Wild, J.: Grundlagen der Unternehmungsplanung; Reinbek 1974.

Wildmann, P.: Berechnungsmodell für militärische Nachschubprobleme; in: Weinberg, F. und Zehnder, C.A., op.cit. (1969); S. 55 ff.

Wilson, R.: Investment Analysis under Uncertainty; in: Management Science, August 1969; S. B-650 ff.

Wismer, D.A.: On the Uses of Industrial Dynamic Models; in: Operations Research 1967; S. 752 ff.

Wittmann, W.: Unternehmung und unvollkommene Information; Köln, Opladen 1959.

Woitschach, M.: Zukunft und Wahrscheinlichkeit; in: Industrielle Organisation, No. 7, 1971; S. 305 ff.

Wolfe, P. und Dantzig, G.B.: Linear Programming in a Markov Chain; in: Operations Research 1962; S. 702 ff.

Wong, P.J.: A New Decomposition Procedure for Dynamic Programming; in: Operations Research 1970; S. 119 ff.

Wong, P.J. und Luenberger, D.G.: Reducing the Memory Requirements of Dynamic Programming; in: Operations Research 1968; S. 1115 ff.

Yamane, T.: Statistics - An Introductory Analysis; New York, etc. 1967.

Zangwill, W.I.: A Backlogging Model and a Multi-Echelon Model of a Dynamic Economic Lot Size Production System; in: Management Science, Mai 1969; S. 506 ff.

Zehnder, C.A.: Das Prinzip der heuristischen Methoden; in: Weinberg, F. und Zehnder, C.A., op.cit. (1969 a); S. 7 ff.

Zehnder, C.A.: Zur Anwendung von Rechenautomaten; in: Weinberg, F. und Zehnder, C.A., op.cit. (1969 b); S. 85 ff.

Zschocke, D.: Die Behandlung von Entscheidungsproblemen mit Hilfe des dynamischen Programmierens; in: Unternehmensforschung 1964; S. 101 ff.

zur Nieden, M.: Zur Anwendbarkeit von Informationswertrechnungen; in: ZfB 1972; S. 493 ff.

Ich erkläre hiermit, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, die benützten Quellen vollständig aufgeführt und von ihnen keinen unzulässigen Gebrauch gemacht habe. Ich erkläre, davon Kenntnis zu haben, dass andernfalls der Senat gemäss dem Gesetz über die Universität zum Entzug der auf Grund der Arbeit erteilten Titel berechtigt ist.

Basel, den 25. Juni 1975